

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie  
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

### OPTIMALIZACE VÝROBY ZAHLOUBENÍ PRO ŠROUBY SE ZÁPUSTNOU HLAVOU

### OPTIMIZATION OF THE PRODUCTION OF A COUNTERSINK FOR A COUNTERSUNK SCREW

František Chrtěk

**KSP – TP –**

Vedoucí diplomové práce:	Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. Technická univerzita v Liberci
Konzultant diplomové práce:	Ing. Josef Vavřina NAF, a. s. Vrchlabí

#### **Rozsah práce a příloh:**

Počet stran	91
Počet obrázků	72
Počet tabulek	9
Počet příloh	6

**Datum:** 27. května 2011

# ANOTACE

## TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program:	M2301 – Strojní inženýrství
Diplomant:	František Chrtek
Téma práce:	Optimalizace výroby zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou
Theme of thesis:	Optimization of the production of a countersink for a countersunk screw
Číslo DP:	KSP – TP –
Vedoucí DP:	Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. – Technická univerzita v Liberci
Konzultant:	Ing. Josef Vavřina – NAF, a. s. Vrchlabí

**Abstrakt:** Diplomová práce se zabývá návrhem různých variant lisování kuželového zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou s úmyslem začlenění této operace do postupového lisovacího nástroje na výrobu dílu zamykacího ústrojí. V práci jsou charakterizovány teoretické myšlenky lisování kuželového zahloubení, je zde popsán a vysvětlen konstrukční návrh zkušebních lisovacích nástrojů, včetně provedených základních výpočtů. Zmíněn je i postup při výrobě zkušebních nástrojů. Dále práce pojednává o průběhu provedených experimentálních zkoušek lisování kuželového zahloubení s hodnocením dosažených výsledků.

**Abstract:** This thesis deals with the project of assorted variants of stamping the countersink for the countersunk screw with intention to include this operation to the procedural former for the production of the part of the locking mechanism. In this thesis different principles for stamping the countersink are characterized. It is described and explication as an engineering designing of procedural formers, including the basic calculations. The production sequence is mentioned. Furthermore the thesis deals with performing of experimental tests of stamping the countersink with the evaluation of final results.

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 27. května 2011

.....  
František Chrtěk  
Studenec 107  
512 33 Studenec u Horek

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat především řediteli firmy NAF, a. s. panu Jiřímu Kousalovi za vytvoření kvalitního zázemí pro práci na diplomové práci a za možnosti využívat veškerého vybavení firmy. Dále konzultantovi diplomové práce panu Ing. Josefu Vavřinovi (NAF, a. s.) a vedoucímu diplomové práce panu Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D. (KSP, TUL) za kvalitní a podnětné připomínky při řešení diplomové práce.

Také bych chtěl poděkovat zaměstnancům TUL působícím na katedře strojírenské technologie, zaměstnancům firmy NAF, a. s. a všem, kteří mi jakýmkoliv způsobem pomohli při řešení diplomové práce.





## Obsah diplomové práce:

Seznam zkratk a symbolů.....	8
<b>1. Úvod.....</b>	<b>10</b>
1.1. Seznámení s firmou NAF, a. s.....	10
1.2. Informace o výlisku a jeho výrobě.....	12
<b>2. Teoretický rozbor technologie stříhání – obecně.....</b>	<b>14</b>
2.1. Fáze stříhání.....	14
2.2. Střížný odpor.....	16
2.3. Výpočet střížné síly.....	18
2.4. Těžiště střížné síly.....	19
2.5. Výpočet střížné práce.....	20
2.6. Střížná vůle.....	21
<b>3. Konstrukce střížných nástrojů – obecně.....</b>	<b>23</b>
3.1. Základní rozdělení střížných nástrojů.....	23
3.2. Části střížných nástrojů.....	24
3.3. Materiály střížných nástrojů.....	27
<b>4. Technologie přechování – obecně.....</b>	<b>28</b>
4.1. Princip přechování.....	28
4.2. Základní výpočtové vztahy.....	30
<b>5. Teorie lisování kuželového zahloubení.....</b>	<b>31</b>
5.1. Vstupní experiment.....	31
5.2. Nová koncepce lisování kuželového zahloubení.....	34
5.3. Výpočet průměru vystřižené díry.....	34
5.4. Varianty lisování kuželového zahloubení.....	39
<b>6. Konstrukční návrh zkušebních nástrojů, jejich výroba a montáž.....</b>	<b>40</b>
6.1. Konstrukce střížného zkušebního nástroje.....	41
6.2. Funkce střížného zkušebního nástroje a jeho části.....	43
6.3. Konstrukce lisovacího zkušebního nástroje.....	46
6.4. Funkce lisovacího zkušebního nástroje a jeho části.....	47
6.5. Postup při výrobě zkušebních nástrojů.....	51



---

6.6. Výroba a montáž zkušebních nástrojů.....	56
<b>7. Experimentální zkoušky lisování kuželového zahloubení.....</b>	<b>62</b>
7.1. Experimentální varianta A.....	64
7.2. Experimentální varianta B.....	70
7.3. Experimentální varianta C.....	73
7.4. Experimentální varianta D.....	74
7.5. Experimentální varianta E.....	76
7.6. Experimentální varianta F.....	81
7.7. Experimentální varianta G.....	83
7.8. Experimentální varianta H.....	85
7.9. Měření lisovací síly při tváření.....	87
<b>8. Závěr a hodnocení dosažených výsledků.....</b>	<b>88</b>
Použitá literatura.....	91
Použité webové zdroje.....	91
Seznam příloh.....	91



## Seznam zkratk a symbolů

$\varnothing D_x$	výpočtem stanovený průměr vystřižené díry	[mm]
$\varnothing d$	průměr válcové části zahloubení	[mm]
$\varnothing D$	větší průměr kuželové části zahloubení	[mm]
$t$	tloušťka zkušebního vzorku	[mm]
$H, h$	délkový rozměr vyplývající z obrázku	[mm]
$z, x$	délkový rozměr vyplývající z obrázku	[mm]
$R_i, r_i$	poloměr	[mm]
$\varnothing d_i$	průměr	[mm]
$h_{s1}$	hloubka vniknutí střížníku do materiálu	[mm]
$m_s$	střížná mezera	[mm]
$v$	střížná vůle	[mm]
$l_i$	délkový rozměr	[mm]
$y_0$	vzdálenost těžiště od osy $y$	[mm]
$b$	rozměr součásti ve směru kolmém na směr podávání materiálu	[mm]
$B$	šířka střížnice	[mm]
$\varnothing D_i$	průměr díry	[mm]
$\varnothing D_{Su}$	průměr střížníku	[mm]
$\varnothing D_{Se}$	průměr střížnice	[mm]
$h_k$	rozměr kuželové části zahloubení a tlačníku	[mm]
$h_v$	rozměr válcové části zahloubení	[mm]
$b_i$	šířka zkušebního vzorku	[mm]
$V_s$	výška střížnice	[mm]
$F_s$	střížná síla	[N]
$F$	pěchovací síla	[N]
$R_m$	mez pevnosti materiálu v tahu	[MPa]
$\tau_{Ps}$	mez pevnosti materiálu ve stříhu	[MPa]
$k_s$	střížný odpor	[MPa]
$k_o$	přetvárný odpor	[MPa]
$\sigma$	napětí	[MPa]
$A_w$	střížná práce	[J]



$A_p$	pěchovací práce	[J]
$S_i$	plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$V_i$	objem	[mm <sup>3</sup> ]
HRC	tvrdost materiálu podle Rockwella	[HRC]
$\alpha$	úkos střižného otvoru	[°]
$A_{80mm}$	tažnost materiálu	[%]
$\varepsilon$	poměrná deformace	[%]
$\varphi$	skutečná deformace	[%]
$k_{Aw}$	koeficient pro výpočet střižné práce	[-]
$\mu$	vnější tření	[-]
$c$	koeficient pro výpočet střižné vůle	[-]
PV	postup pro výrobu	[-]
SK	slinutý karbid	[-]
TUL	Technická univerzita v Liberci	[-]



## 1. Úvod

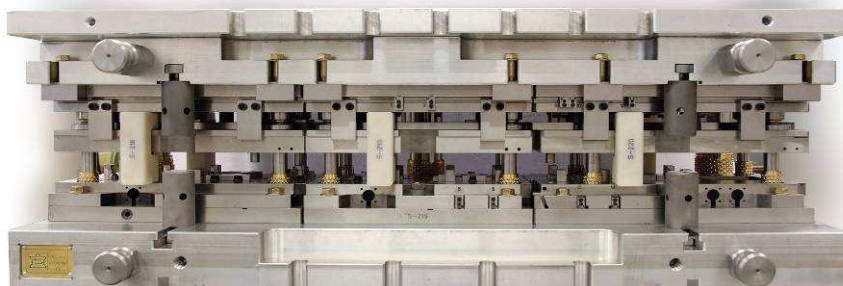
Diplomová práce je řešena ve spolupráci s firmou NAF, a. s. Zadání diplomové práce spočívá v řešení problémů při lisování kuželového zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou. Vstupem do problematiky je výlisek dílu zamykacího ústrojí, do kterého je nutné vylisovat tři zahloubené otvory. Tento výlisek má být vyráběn v postupovém lisovacím nástroji za daných podmínek.

Cílem diplomové práce je určit možné způsoby lisování kuželového zahloubení pro zápusťné šrouby tak, aby bylo dosaženo požadovaných výsledků. Při lisování je nutné docílit požadovaných rozměrů i tvaru zahloubení. Jsou dány parametry lisu určeného k lisování dílu, podmínky lisování a informace o polotovaru, ze kterého má být finální výlisek zhotoven.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže 2822 ze strany TUL v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.

### 1.1. Seznámení s firmou NAF, a. s.

Firma NAF, a. s. je tradičním výrobcem špičkových postupových nástrojů a vysoce přesných technických dílů pro automobilový a elektrotechnický průmysl. Tradice firmy sahá až do roku 1939, kdy podnik zakoupila berlínská firma LORENC AG. Později se firma stala jedním z článků Tesla Vrchlabí, s. p., aby se koncem roku 1995 oddělila a vznikla jako nová transformovaná akciová společnost. Během novodobé historie společnosti byly její výrobní haly vybaveny moderními stroji řady CNC. Zřízeno bylo rovněž i vlastní konstrukční a programátorské oddělení. Spojení vysoce kvalifikovaných pracovníků a CNC techniky dnes představuje, společně s certifikací ISO 9001, záruku té nejvyšší evropské kvality.



**Obr. 1. Ukázka výrobku – modulový nástroj**

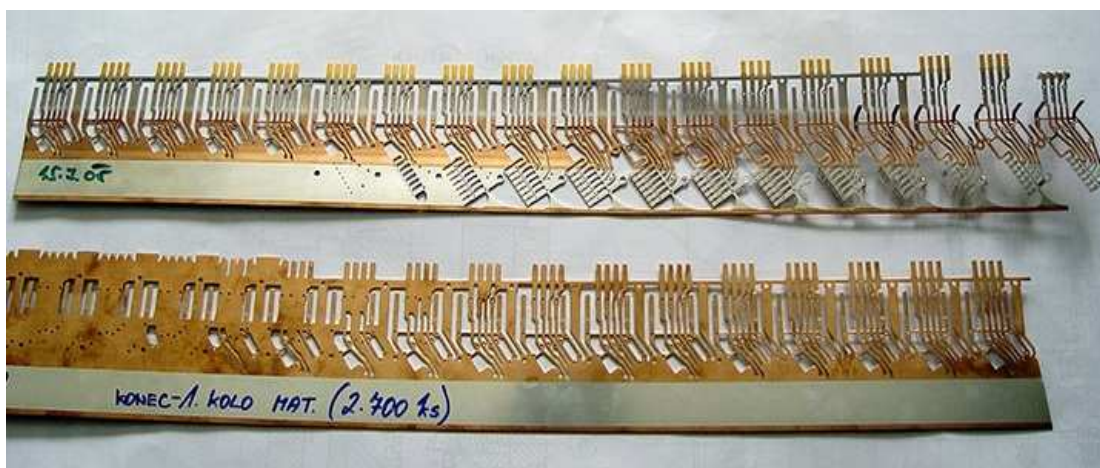
- **Pracovní náplň firmy**

- konstrukce a výroba střížných, ohýbacích a kombinovaných nástrojů z nástrojových ocelí nebo SK (do rozměrů cca 300 x 600 mm)
- konstrukce a výroba vysoce přesných modulových nástrojů z nástrojových ocelí nebo SK (až do délky 1500 mm)
- příprava forem na vstřikování plastů (do rozměrů cca 300 x 600 mm)
- výroba dílů do střížných nástrojů a forem
- výroba montážních a jednoúčelových přípravků
- vývoj a výroba rolerů (pro pohodlné připevnění lyžařských jízdének – skipasů k oděvu)

Mezi další činnosti firmy patří lisování kovových výlisků, lisování vysoce přesných výlisků a vstřikování plastů.

- **Organizace výroby ve firmě**

Jedná se o kusovou výrobu. Každý z nástrojů, který projde výrobou, je originální a skládá se z nekonvenčních dílů. Svým způsobem je taková výroba složitá a musí se dbát na to, aby nedocházelo k nadměrné zmetkovitosti. Každý zmetek znamená finanční ztrátu, protože se v tomto odvětví používá kvalitních a drahých kovových materiálů. Následné opracování kovů patří také mezi finančně náročné operace. Z toho důvodu je ve firmě neustálá komunikace konstrukčního oddělení, technologického oddělení a výroby.

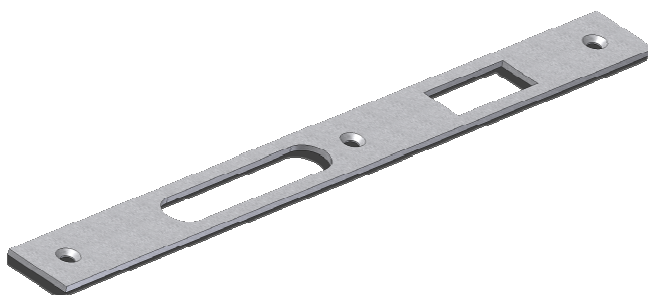


**Obr. 2. Ukázka složitosti výlisků – postup materiálu v nástroji**

## 1.2. Informace o výlisku a jeho výrobě

- **Výlisek – součást zamykacího zařízení**

Rozměry a tvar součásti jsou zadány. Na *Obr. 3* je zobrazen díl zamykacího ústrojí. Skica součásti je v *příloze 1*. Diplomová práce je zaměřena především na lisování kuželového zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou. Na jedné součásti jsou tři zahloubení, jeden vystřižený otvor oválného tvaru a jeden vystřižený otvor obdélníkového tvaru. Materiál výlisku je ocel DIN 1.0320 (ČSN 11 320).



**Obr. 3. Výlisek**

- **Požadavky na výrobu výlisku**

Výlisek má být vyráběn z ocelového pásu (materiál ČSN 11 320) podávaného do postupového lisovacího nástroje podávacím zařízením. Podávací zařízení je konstruované pro souběžné podávání a polohování dvou vedle sebe jdoucích pásů oceli. Je žádoucí navrhnout finální lisovací nástroj pro lisování dvou vedle sebe jdoucích pásů oceli, tedy jako dvouřadý. Do nástroje



**Obr. 4. Lis Bruderer  
BSTA 60 HL**

mají pásy materiálu vstupovat současně a rovnoběžně. Požadavkem je výroba kompletního dílu na dva kroky postupového lisovacího nástroje. Šířka ocelových pásů má být stejná jako šířka výlisku. To znamená, že se výlisek po obvodu nemá ostříhovat. Tato úvaha vyplývá z maximálního využití materiálu s minimálními odpady a ze zvýšení produktivity lisování. Dále jsou dány parametry lisu, na kterém by se součást měla lisovat. Jedná se o lis Bruderer BSTA 60 HL (*Obr. 4*). Technická data k lisu jsou v *příloze 2*.





- **Cíle práce**

Jak již bylo uvedeno výše, diplomová práce je zaměřena na lisování kuželového zahloubení a možnost začlenění tohoto úkonu do lisovacího postupového nástroje. Cílem je snaha navrhnout a prakticky odzkoušet možné způsoby lisování kuželového zahloubení. Lisováním musí být dosaženo požadovaných rozměrů a tvarů kuželového zahloubení s ohledem na rozměrové tolerance výlisku. Je požadováno vylisovat díl zamykacího ústrojí na dva kroky postupového lisovacího nástroje pomocí lisu Bruderer BSTA 60 HL. Lisovací postupový nástroj musí být dvouřadý. Součástí této diplomové práce je odzkoušení teoretických poznatků a myšlenek v praxi.

- **Postup při řešení problému lisování kuželového zahloubení:**

- promyšlení možných variant lisování kuželového zahloubení
- návrh a konstrukce zkušebních nástrojů pro experimentální zkoušky lisování kuželového zahloubení včetně vypracování souboru výrobních skic
- vypracování postupů pro výrobu zkušebních nástrojů s ohledem na firemní zvyklosti
- výroba zkušebních nástrojů
- příprava zkušebních vzorků
- samotné testování a vyhodnocování experimentálních zkoušek lisování kuželového zahloubení

Konstrukce zkušebních nástrojů a soubor výrobních skic podléhá firemním zvyklostem, stejně tak i postupy pro výrobu nástrojů. Pro návrh a výrobu je možné využívat veškerého vybavení firmy, tj. veškerého počítačového vybavení a softwaru, obráběcích strojů, měřicích zařízení, lisů, montážního vybavení atd.

Snahou je co nejjednodušeji zkonstruovat a vyrobit zkušební nástroje s potřebnými doplňky. Ohled musí být brán i na ekonomičnost návrhu v podobě volby vhodných materiálů a tepelných zpracování, vhodných technologií při obrábění kovů, tvarové jednoduchosti dílů a univerzálnosti spočívající v možných dodatečných úpravách nástroje v průběhu zkušebních experimentů.



## 2. Teoretický rozbor technologie stříhání – obecně

ČSN 22 6001 – Názvosloví technologie tváření kovů. Norma stanovuje názvy základních prací v technologii tváření kovů, jejich rozřídění na jednotlivé operace podle povahy práce, rozřídění a pojmenování nástrojů podle funkce. Norma definuje základní práce a operace v oboru stříhání, ohýbání, tažení, protlačování, ražení, válcování, kalibrování atd.

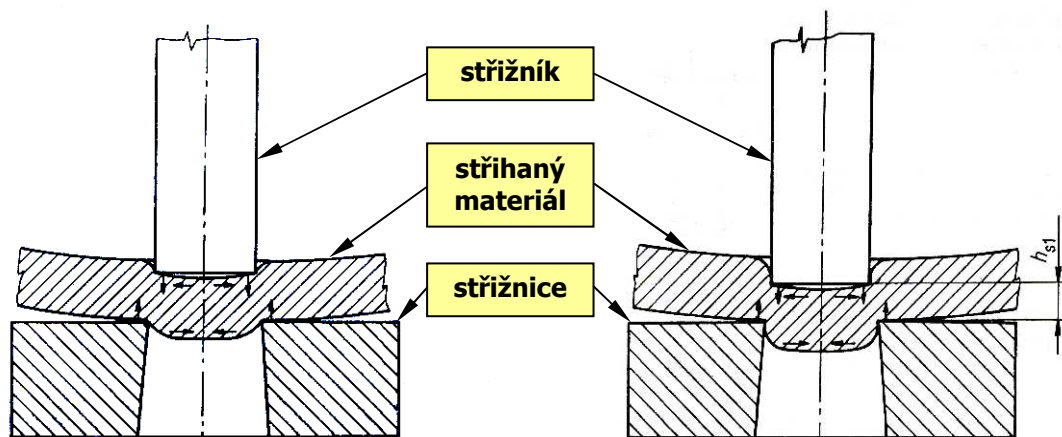
### • Stříhání

Stříhání je oddělování částic materiálu stříhacími nástroji podél křivky stříhu. Křivku stříhu tvoří obvod výstřižku, střížníku či střížnice. Stříhání patří mezi velmi progresivní způsob zpracování kovů. Při návrhu výstřižku je nutné brát ohled na některé zákonitosti a nedostatky jako jsou:

- zaoblení a zeslabení tloušťky výstřižku podél střížné plochy
- drsnost střížné plochy, daná průběhem deformace a jakostí materiálu
- zkosení střížné plochy vlivem střížné vůle
- zpevnění střížné plochy do určité hloubky
- prohnutí některých výstřižků ohybovým momentem obou složek střížné síly [2]

### 2.1. Fáze stříhání

Začátek stříhání a děrování ve střížných nástrojích je při dosednutí střížníku na stříhaný materiál a konec nastává při oddělení materiálu. Celý průběh se rozděluje do tří základních fází. [2]



**Obr. 6. První fáze stříhání – oblast pružné deformace**

**Obr. 6. Druhá fáze stříhání – oblast trvalé deformace**

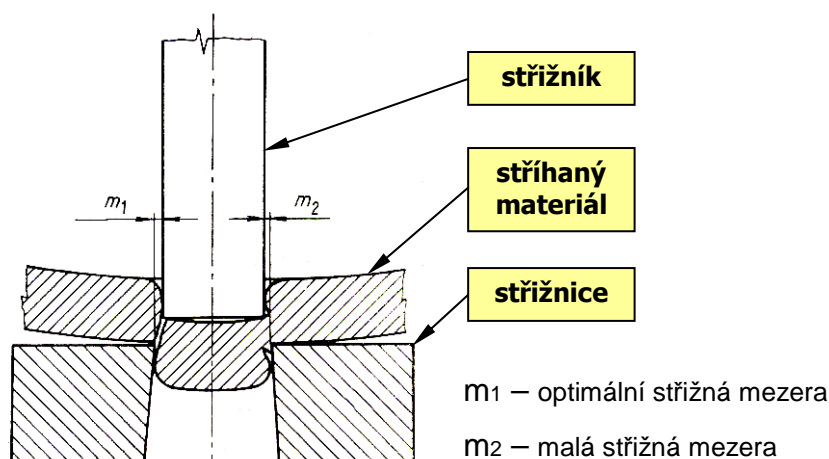
$h_{s1}$  – hloubka vniknutí střížníku do materiálu



- první fáze: V první fázi stříhání (*Obr. 6 – vlevo*) tlačí střížník na plech a vyvolává napětí v tvářeném kovu, které je menší než mez pružnosti. Dochází tedy pouze k pružné deformaci. Hloubka vniknutí střížníku do stříhaného materiálu bývá 5 až 8 % jeho tloušťky a závisí zejména na jeho mechanických vlastnostech. Stříhaný plech je namáhán silou působící v ploše mezi obvodem střížníku a střížnice. Z tohoto důvodu dochází v rovinách kolmých ke střížným plochám k vzniku silových dvojic. Přitom vzniká na stříhaném materiálu zaoblení – na straně střížníku vtažení a na straně střížnice vytlačení materiálu.
- druhá fáze: V druhé fázi stříhání (*Obr. 6 – vpravo*) vznikne ve stříhaném materiálu napětí větší, než je jeho mez kluzu. Přitom dochází k trvalé deformaci plechu. Hloubka vniknutí střížníku do stříhaného materiálu je závislá na jeho mechanických vlastnostech a pohybuje se mezi 10 až 25 % jeho tloušťky. Na konci této fáze dosahuje napětí v materiálu hodnoty pevnosti ve stříhu.
- třetí fáze: Ve třetí fázi stříhání (*Obr. 7*) je materiál namáhán nad mez pevnosti ve stříhu. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu v okamžiku jeho úplného oddělení bývá 10 až 60 % jeho tloušťky a závisí na velikosti střížné mezery, na druhu materiálu a na druhu nástroje.

Nejprve vzniknou mikroskopické a následně makroskopické trhlinky v materiálu u hran střížníku a střížnice. Vzniklé trhlinky se rychle prodlužují, až dojde k oddělení materiálu od výchozího plechu. Rychlost vzniku a postupu trhlinek je závislá na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a na velikosti střížné vůle mezi střížníkem a střížnicí. Střížná vůle má také vliv na kvalitu výstřížku. Tvrdý a křehký materiál se oddělí téměř okamžitě a naopak u měkkých a houževnatých materiálů dochází ke vzniku nástříhu – trhlinek poměrně pomalu.

Při optimální střížné vůli se nástříhy od střížných hran obou střížných prvků setkají (*Obr. 7 – vlevo*) a vytvoří ve stříhaném průřezu jednu plochu bez otřepu. Při malé nebo velké střížné vůli se nástříhy nesetkají a vytvoří nerovný povrch v ploše stříhu (*Obr. 7 – vpravo*).



**Obr. 7. Třetí fáze stříhání – oddělení materiálu**

## 2.2. Střižný odpor

Střižný odpor je schopnost materiálu bránit se proti oddělení. Závisí na řadě činitelů, na vlastnostech stříhaného materiálu a na jeho tloušťce, tvaru a rozměru křivky stříhu, velikosti střižné vůle, konstrukci nástroje a podmínkách stříhání.

Střižný odpor závisí především na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. S rostoucí pevností materiálu v tahu a s klesající tvárností střižný odpor roste. Naopak s rostoucí tloušťkou materiálu a s rostoucí velikostí křivky stříhu a její pravidelností se střižný odpor zmenšuje.

Pro každý materiál a jeho tloušťku se dosáhne nejmenšího střižného odporu při optimální střižné vůli. Střižné podmínky, jako je rychlost stříhání, velikost tření, mazání, chlazení, stav střižných hran nástroje atd., značně ovlivňují velikost střižného odporu. Například při vzrůstající rychlosti stříhu střižný odpor roste, při mazání naopak klesá. [2]

Přesné stanovení střižného odporu je vzhledem k rozdílnému působení několika činitelů obtížné. Obecně lze střižný odpor stanovit ze vzorce:

$$k_s = \frac{F_s}{S_s} \quad [MPa] \quad (1)$$

kde:  $k_s$  – střižný odpor  $[MPa]$

$F_s$  – střižná síla  $[N]$

$S_s$  – plocha stříhu  $[mm^2]$



**Tab. 1. Závislost střížného odporu  $k_s$  na pevnosti v tahu  $R_m$  pro různé materiály a různé tloušťky [2]**

Materiál	Střížný odpor $k_s$ [MPa]	
	Tloušťka materiálu [mm]	
	2 až 4	0,5 až 2
mosaz	$0,65 R_m$	$0,75 R_m$
hliník měkký	$0,75 R_m$	$0,90 R_m$
hliník tvrdý	$0,55 R_m$	$0,70 R_m$
dural měkký	$0,65 R_m$	$0,75 R_m$
dural tvrdý	$0,60 R_m$	$0,65 R_m$
ocel	$0,75 R_m$	$0,90 R_m$
korozivzdorné oceli	$0,68 R_m$	$0,72 R_m$
slitiny titanu	$0,65 R_m$	$0,70 R_m$

Závislost mezi střížným odporem a pevností materiálu v tahu je uvedena v Tab. 1. Praktické hodnoty střížného odporu, zahrnující průměrné hodnoty popsaných činitelů, jsou uvedeny v Tab. 2.

**Tab. 2. Přehled vybraných mechanických vlastností ocelí [2]; [7]**

Materiál ČSN	Střížný odpor $k_s$ [MPa]	Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	Tažnost $A_{80mm}$ [%]	Materiál ČSN	Střížný odpor $k_s$ [MPa]	Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	Tažnost $A_{80mm}$ [%]
10 340	280 – 360	340 – 420	23 – 25	11 301.21	240 – 340	280 – 400	29
10 370	320 – 400	370 – 450	18 – 20	11 321.90	–	270 – 400	26 – 30
10 422	360 – 450	420 – 500	18 – 20	11 321.20	240 – 330	280 – 380	30
<b>11 320</b>	<b>220 – 300</b>	<b>280 – 380</b>	<b>28 – 30</b>	11 331.3	240 – 340	280 – 400	23 – 26
11 500	440 – 530	500 – 600	15 – 17	11 340.1	290 – 360	340 – 420	23 – 25
12000.20	700	max. 800	–	11 340.22	290 – 400	340 – 460	14
12010.1	min. 300	min. 340	24	11 340.23	340 – 460	400 – 530	6
12 013.20	240 – 430	280 – 380	30	11 340.24	400 – 520	470 – 600	3
12 020.20	330 – 440	380 – 500	23	11 340.25	520 – 700	600 – 800	3
12 020.1	min. 350	min. 400	21	11 341.20	240 – 340	280 – 400	26
12 040.1	min. 430	min. 500	19	11 341.21	260 – 360	300 – 420	22
12 041.20	390 – 520	450 – 600	20				
12 050.1	min. 480	min. 560	16	17 021.2	470	550	21
12 060.1	min. 540	min. 620	13	17 022.2	520	600	–
12 071.20	480 – 600	550 – 700	17	17 041.2	470	550	–
				17 041.21	600	700	–
13 180.20	700	max. 800	14	17 041.10	560	650	55
14 000.20	700	max. 800	–	17 246.1	560	650	58
14 160.0	820	950	–	17 246.11	730	850	–
14 220.30	560	max. 650	–				
11 301.2	240 – 330	280 – 380	33				



### 2.3. Výpočet střížné síly

Velikost střížné síly se mění v průběhu pracovního zdvihu. V každém okamžiku je daná součinem dvou proměnných veličin, součinem střížného odporu a stříhané plochy. Střížnou sílu je nutné znát pro vhodný návrh lisu. Při stříhání se nesmí překročit jmenovitá síla lisu. [1]

Pro výpočet střížných sil je možno použít:

$$k_s \cong \tau_{ps} \cong 0,8R_m \quad (2)$$

kde:  $k_s$  – střížný odpor [MPa]  
 $\tau_{ps}$  – mez pevnosti materiálu ve stříhu [MPa]  
 $R_m$  – mez pevnosti materiálu v tahu [MPa]

Střížná síla se určí výpočtem ze vzorce:

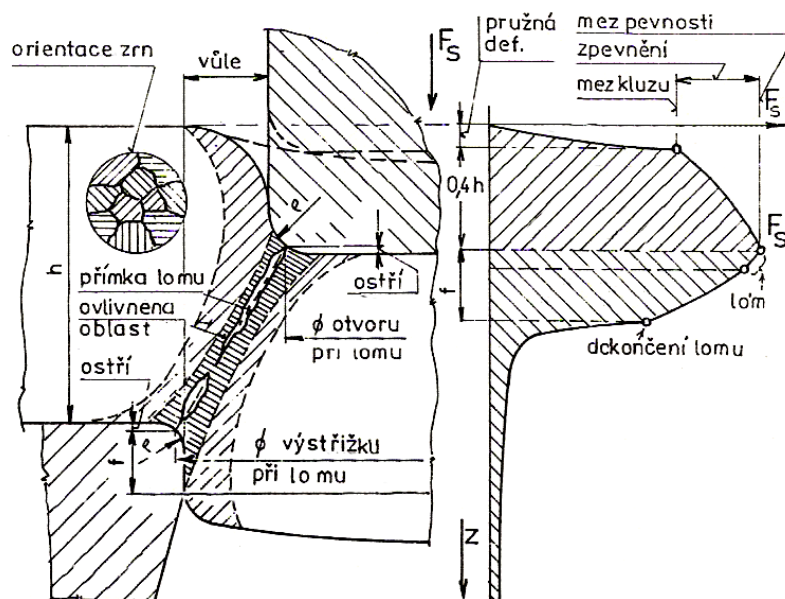
$$F_s = (1 \text{ až } 1,3) \cdot S_s \cdot k_s = (1 \text{ až } 1,3) \cdot S_s \cdot \tau_{ps} = (1 \text{ až } 1,3) \cdot S_s \cdot 0,8 \cdot R_m \text{ [N]} \quad (3)$$

$$S_s = l \cdot t \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4)$$

kde:  $F_s$  – střížná síla [N]  
 $S_s$  – plocha stříhu [mm<sup>2</sup>]  
 $l$  – délka stříhu [mm]  
 $t$  – tloušťka stříhaného materiálu [mm]  
 $k_s$  – střížný odpor [MPa]  
 $\tau_{ps}$  – mez pevnosti materiálu ve stříhu [MPa]  
 $R_m$  – mez pevnosti materiálu v tahu [MPa]  
(1 až 1,3) – opravný koeficient (nerovnoměrnosti tloušťky stříhaného materiálu, napjatosti i stavu ostří)

Průběh střížné síly je uveden na Obr. 8. Z křivky je patrný její stoupající charakter až do maximální hodnoty  $F_s$ , kdy dosáhne střížník hloubky ve stříhaném materiálu  $h_{s1}$ . Pak vzniknou první porušení (nástřihy stříhaného materiálu) a síla  $F_s$  začne klesat. [3]

Velikost střížné síly lze měnit úpravou v podobě zkosení střížných břitů. Střih pak probíhá postupně a tím se dosáhne snížení střížné síly.



**Obr. 8. Schéma vzniku stříhového lomu a průběh sil při stříhání**

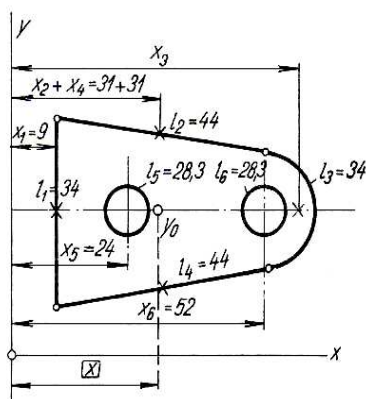
## 2.4. Určení těžiště střížné síly

K upínání střížného nástroje do beranu lisu se obvykle používá upínacích stopek. Aby vedení beranu lisu nebylo namáháno stranovými silami, měla by výslednice střížných sil procházet osou upínací stopky. Tam, kde nepostačuje upnutí střížného nástroje pomocí upínací stopky tj. u velkých nástrojů, používá se upínání pomocí šroubů přímo k beranu lisu. V tomto případě by těžiště mělo být v prodloužení osy beranu lisu.

Jsou-li upínací stopky umístěny mimo těžiště, tak se vodítka nástrojů i vedení lisu ve větším rozsahu opotřebovávají a střížné hrany se rychle otupují. Jednostranné zatížení může někdy způsobit i zadření beranu lisu. Určení těžiště střížných sil se určuje graficky nebo výpočtem. [6]

Příklad určení těžiště střížných sil výpočtem:

Na Obr. 9 jsou udány délky jednotlivých úsečků a oblouků a vzdálenosti jejich těžišť od libovolně zvolené osy. Je vhodné rozdělit si všechny prováděné stříhy na jednoduché geometrické útvary (úsečky, oblouky, kružnice), u nichž je poloha těžiště jednoznačně zřejmá. Jelikož jde o sloučený stříhací nástroj, uvažují se i otvory  $I_5$  a  $I_6$ . Jednotlivé hodnoty seřadíme do tabulky viz Tab. 3. [2]



**Obr. 9. Určení těžiště  
střížné síly výpočtem**

**Tab. 3. Příklad sestavení tabulky pro určení  
těžiště střížných sil výpočtem**

Úsek (i)	$l_i$ [mm]	$x_i$ [mm]	$l_i \cdot x_i$ [mm <sup>2</sup> ]
1	$l_1$	$x_1$	$l_1 \cdot x_1$
2	$l_2$	$x_2$	$l_2 \cdot x_2$
3	$l_3$	$x_3$	$l_3 \cdot x_3$
4	$l_4$	$x_4$	$l_4 \cdot x_4$
5	$l_5$	$x_5$	$l_5 \cdot x_5$
6	$l_6$	$x_6$	$l_6 \cdot x_6$
	$\sum_{i=1}^{i=6} l_i$		$\sum_{i=1}^{i=6} l_i \cdot x_i$

$$\text{Vzdálenost těžiště } y_0 \text{ od zvolené osy } y : x \cong \frac{\sum_{i=1}^{i=6} l_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{i=6} l_i} \quad (5)$$

Obraz je symetrický, proto stačí výpočet vzdálenosti jedné těžnice. U nesymetrických obrazců se musí počítat dvě těžnice. Při výpočtu je vhodné volit osu  $y$  tak, aby procházela některou stranou obrazce.

## 2.5. Výpočet střížné práce

Práce potřebná pro vystřížení součásti je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtažení střížníku do materiálu. Ze schématu na Obr. 8 je zřejmá velikost střížné práce. Je ohraničená čarou střížné síly a dráhou střížníku po dokončení stříhu. Plocha pod čarou střížné síly až do dokončení stříhu je plocha střížné práce. [1]

Střížná práce se stanoví ze vzorce:

$$A_w = k_{Aw} \cdot F_s \cdot t \quad [J] \quad (6)$$

kde:  $A_w$  – střížná práce [J]

$F_s$  – střížná síla [N]

$t$  – tloušťka stříhaného materiálu [m]

$k_{Aw}$  – koeficient (0,4 až 0,7) závislý na druhu a tloušťce materiálu  
přesnější hodnoty jsou uvedeny v Tab. 4.



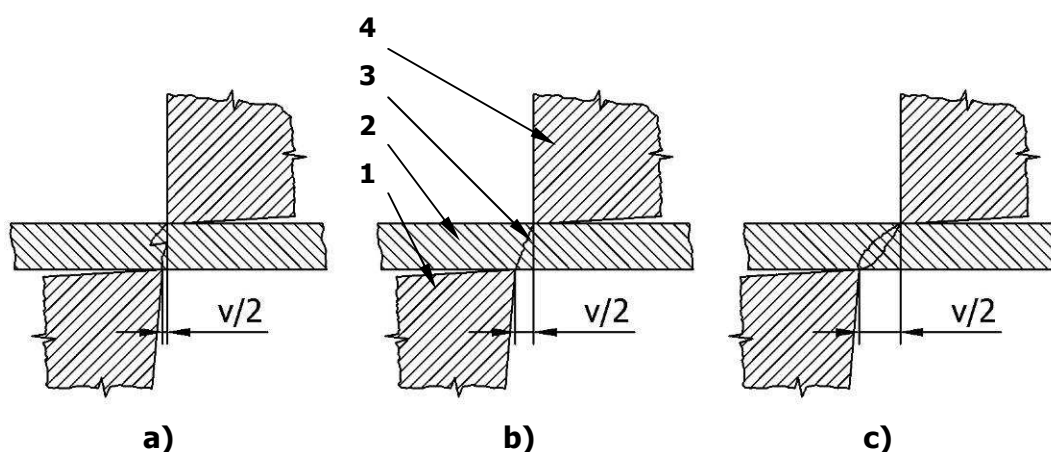
**Tab. 4.** Hodnoty koeficientu  $k_{Aw}$  [1]

Materiál	Tloušťka materiálu $t$ [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
hliník, měď (žíhané)	0,75 – 0,70	0,70 – 0,65	0,65 – 0,55	0,50 – 0,50
ocel měkká $k_s = 250 – 350$ [MPa]	0,70 – 0,65	<b>0,65 – 0,60</b>	0,60 – 0,50	0,45 – 0,35
ocel středně tvrdá $k_s = 350 – 500$ [MPa]	0,60 – 0,55	0,55 – 0,50	0,50 – 0,42	0,40 – 0,40
ocel tvrdá $k_s = 500 – 700$ [MPa]	0,45 – 0,42	0,42 – 0,38	0,38 – 0,33	0,30 – 0,20

## 2.6. Střížná vůle mezi střížníkem a střížnicí

Střížná vůle je rozdíl mezi rozměrem střížníku a střížnice, tj. součet střížných mezer na obou stranách mezi střížníkem a střížnicí (Obr. 7).

Velikost střížné vůle je důležitá zejména pro trvanlivost nástroje. Střížná mezera musí být stejná a rovnoměrná na všech místech křivky stříhu. Její velikost závisí na druhu a tloušťce stříhaného materiálu. Zmenšováním střížné mezery se zvětšuje střížná síla a střížná práce. Správně volená velikost střížné mezery je podmínkou pro spojení trhlín vznikajících při stříhání. Tím je zaručeno správné usmyknutí stříhané plochy (Obr. 10).



**Obr. 10.** Tvar střížné plochy pro různé střížné vůle

$v$  – střížná vůle [mm]

- a) malá střížná vůle
- b) správná střížná vůle
- c) velká střížná vůle

1 – střížnice

2 – stříhaný materiál

3 – vznikající trhlina (nástřih)

4 – střížník





Střížná vůle se volí na úkor střížníku nebo střížnice vzhledem k rozměru výstřížku. Pokud je zapotřebí dosáhnout přesného vnějšího rozměru výstřížku, docílí se střížné vůle zmenšením střížníku. Při děrování otvoru vzniká střížná vůle zvětšováním rozměrů střížnice. [1]

Velikost střížné vůle závisí především na tloušťce, druhu a mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. Obvykle se stanoví v procentech tloušťky stříhaného materiálu. V praxi se ke stanovení střížné vůle používají tabulky, ve kterých jsou uvedeny hodnoty střížných vůlí v procentech tloušťky stříhaného materiálu nebo absolutní hodnoty střížných vůlí pro určitý druh a tloušťku stříhaného materiálu (Tab. 5). Střížnou vůli lze stanovit podle vzorců sestavených na základě praktických zkušeností. [1]

Vzorce pro stanovení střížné mezery (střížné vůle): (7)

a) pro plechy o tloušťce do 3 mm      b) pro plechy o tloušťce větší než 3mm

$$m_s = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{k_s} \qquad m_s = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot (1,50 \cdot c \cdot t - 0,015) \cdot \sqrt{k_s}$$

kde:  $m_s$  – střížná mezera [mm]  
 $v$  – střížná vůle [mm]  
 $t$  – tloušťka stříhaného materiálu [mm]  
 $k_s$  – střížný odpor [MPa]  
 $c$  – koeficient závislý na druhu stříhání,  $c = (0,005 \text{ až } 0,025)$ , pro nejlepší povrch  $c = 0,005$ , pro nejmenší střížnou sílu  $c = 0,025$

Přesnost součástí vyrobených stříháním závisí na velikosti střížné vůle a na řadě dalších činitelů [1]:

- na přesnosti vyrobení střížníku a střížnice
- na konstrukci nástroje a způsobu zajištění polohy materiálu při stříhání
- na druhu a stavu stříhaného materiálu
- na druhu a stavu střížného nástroje
- na tloušťce a přesnosti rozměru stříhaného materiálu
- na pružné deformaci při stříhání



**Tab. 5. Velikost střížné vůle [1]**

Tloušťka materiálu $t$ [mm]	Kovy					
	Mez pevnosti $R_m$					
	do 40 [MPa]		40 až 60 [MPa]		nad 60 [MPa]	
	$v$ [%]	$v$ [mm]	$v$ [%]	$v$ [mm]	$v$ [%]	$v$ [mm]
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5	3 – 5	0,003 – 0,005 0,006 – 0,010 0,009 – 0,015 0,012 – 0,020 0,015 – 0,025	5 – 7	0,005 – 0,007 0,010 – 0,014 0,015 – 0,021 0,020 – 0,028 0,025 – 0,035	7 – 9	0,007 – 0,009 0,014 – 0,018 0,021 – 0,027 0,028 – 0,036 0,035 – 0,045
0,6 0,8 1,0 1,2 1,5		0,024 – 0,036 0,032 – 0,048 0,040 – 0,060 0,048 – 0,072 0,060 – 0,090		0,036 – 0,048 0,048 – 0,064 0,060 – 0,080 0,072 – 0,096 0,090 – 0,120		0,048 – 0,060 0,064 – 0,080 0,080 – 0,100 0,096 – 0,120 0,120 – 0,150
1,8 <b>2,0</b> 2,5 3,0		0,090 – 0,126 <b>0,100 – 0,140</b> 0,125 – 0,175 0,150 – 0,210		0,126 – 0,162 0,140 – 0,180 0,175 – 0,225 0,210 – 0,270		0,162 – 0,198 0,180 – 0,220 0,225 – 0,275 0,270 – 0,330

### 3. Konstrukce střížných nástrojů – obecně

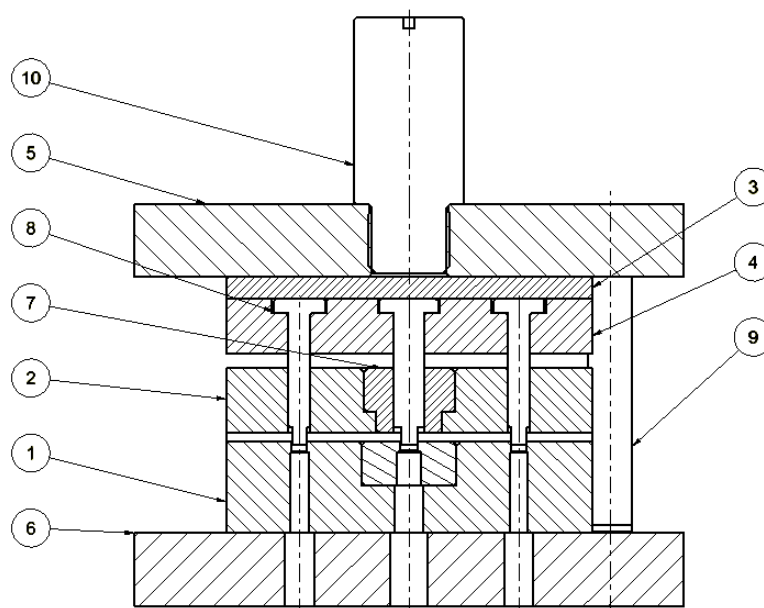
Střížných nástrojů je velká řada, rozdělují se do mnoha skupin. Konstrukční řešení každého nástroje závisí na typu, tvaru, velikosti a složitosti výlisku. Požadavky na konstrukci střížného nástroje jsou takové, že nástroj musí splňovat nároky kladené pro přesné vystřížení výrobku. Zároveň musí nástroj vyrobit dostatečný počet dílů v dobré kvalitě a přesnosti. Konstrukce by měla splňovat podmínku jednoduché montáže, snadné vyrobitelnosti, vyměnitelnosti dílů, bezpečnosti a ekonomičnosti.

#### 3.1. Základní rozdělení střížných nástrojů

- podle druhu základních operací: prostříhování, děrování, nastříhování, přestříhování, ostříhování, přistříhování, protrhávání, vysekávání
- podle počtu základních operací na jeden zdvih lisu a uspořádání: jednoduché, postupové, sloučené, sdružené
- podle způsobu vedení pohyblivé části nástroje vůči pevné části: nástroje bez vlastního vedení – vedené lisem, nástroje s deskovým nebo sloupkovým vedením [5]

### 3.2. Jednotlivé části střížných nástrojů

Každý typ nástroje je konstruován jiným způsobem závislým především na konstruktérech. Při konstrukci nástrojů se používají normované díly a speciální díly. Na *Obr. 11* je zobrazen střížný nástroj, u kterého jsou popsány jednotlivé základní části. Další součásti a postupy používané při konstrukci střížných nástrojů jsou uvedeny v příslušné ČSN normě.



**Obr. 11. Pohled na řez střížného nástroje**

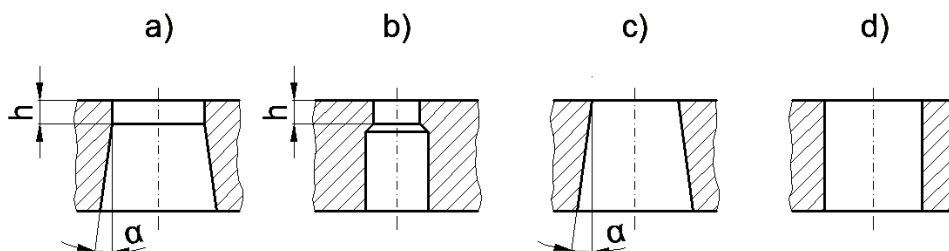
- |                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 1 – střížnice se střížnou vložkou | 6 – dolní upínací deska |
| 2 – vodící deska                  | 7 – vodící vložka       |
| 3 – opěrná deska                  | 8 – střížník            |
| 4 – kotevní deska                 | 9 – vodící sloupek      |
| 5 – horní upínací deska           | 10 – upínací stopka     |

#### • Střížnice

Střížnice patří mezi nejnákladnější součásti nástroje, protože střížný otvor vyžaduje přesné opracování. Rozmanitost tvarů střížnic je různá a odvíjí se od stříhané součásti. Střížnice mohou být celistvé, tzn. z jednoho kusu materiálu, nebo dělené. Často se při návrhu střížnic používají střížné vložky z důvodu ušetření kvalitních materiálů nebo možné výměny.

Na *Obr. 12* jsou různá provedení střížných otvorů. Na *Obr. 12 a)* jsou stěny střížného otvoru bez úkosu do hloubky  $h$ , která je závislá na tloušťce stříhaného materiálu. Další část otvoru má úkos 3 až 5°. Provedení na *Obr. 12 b)* jsou stěny střížného otvoru bez úkosu do hloubky  $h$ , která je závislá na tloušťce stříhaného

materiálu. Další část má vybrání. U provedení na Obr. 12 c) má střížný otvor úkos hned od střížné hrany a je závislý na tloušťce stříhaného materiálu (př. pro tloušťku stříhaného materiálu 1 až 2 mm je úkos 15' až 20' a pro tloušťku 4 až 6 mm je úkos 40' až 1°). [5]



**Obr. 12. Provedení střížných otvorů**

Pro stanovení výšky a šířky střížnice se používají empirické vzorce ověřené praxí. Výšky střížnic jsou závislé na největším rozměru součástí, tj. na rozměru ve směru kolmém na směr podávání materiálu. Dále závisí na tloušťce stříhaného materiálu.

- Vzorce pro výpočet výšky a šířky střížnice: (8)

$b$ do 50 mm	$V_s = (0,5 \text{ až } 0,35) \cdot b \text{ [mm]}$ , nejméně však 15 mm
$b$ od 50 do 100 mm	$V_s = (0,3 \text{ až } 0,22) \cdot b \text{ [mm]}$
$b$ od 100 do 200 mm	$V_s = (0,22 \text{ až } 0,18) \cdot b \text{ [mm]}$
$b$ nad 200 mm	$V_s = (0,18 \text{ až } 0,12) \cdot b \text{ [mm]}$

Tyto vzorce platí pro tloušťku stříhaného materiálu od 0,8 až 3 mm. Při tloušťce stříhaného materiálu pod 0,8 mm se výška střížnice může zmenšit o 15 až 20% a při tloušťce stříhaného materiálu nad 3 mm je nutno výšku střížnice volit o 15 až 25% větší, než udávají vzorce. [5]

Vzorec pro výpočet šířky střížnice:

$$B = b + (2,5 \text{ až } 4) \cdot V_s \text{ [mm]} \quad (9)$$

kde:  $V_s$  – výška střížnice [mm]  
 $b$  – největší rozměr součástí ve směru kolmém na směr podávání materiálu [mm]  
 $B$  – šířka střížnice [mm]

- **Střížníky**

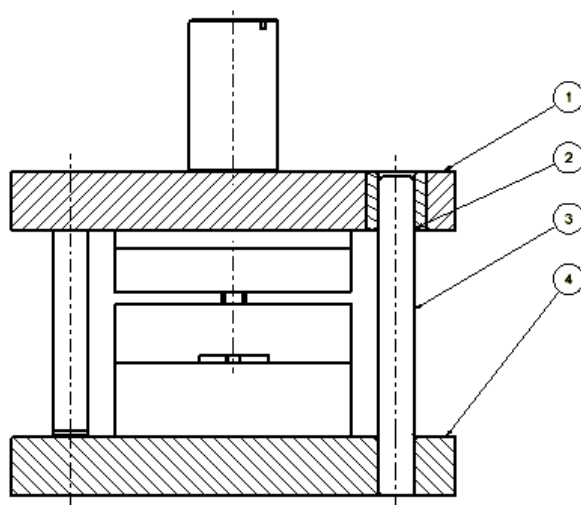
Konstrukce střížníků je dána tvarem a rozměry vyráběné součásti, způsobem uložení střížníků v kotevní desce. Upevnění v kotevní desce může být např. šrouby a kolíky, roznýtováním hlavy střížníku, nákrůžkem nebo osazením střížníku (*Obr. 11*), u složitých tvarů střížníku zalitím lehce tavitelnými slitinami nebo pryskyřicemi (olovo, cín, bismut, epoxidové pryskyřice a dentakryl pro tenké stříhané materiály) atd.

Střížníky a střížnice patří mezi činné části stroje, které provádějí vlastní stříh a rozmísťují se na desky přesně podle nástřihu. Nástřih je tedy půdorysem rozmístění střížníků a střížnic. [5]

- **Stojánek, skříň střížného nástroje**

Stojánek střížného nástroje tvoří horní a dolní upínací deska, které jsou vůči sobě vedeny vodicími sloupky, to umožňuje přesné vedení břitů střížníků a střížnic proti sobě. Upínací desky bývají čtvercového nebo obdélníkového tvaru a vodicí sloupky se umísťují u okrajů desek. Vodicí sloupky se do dolní desky zalisovávají kolmo k desce a v horní desce jsou vodicí pouzdra pro vodicí sloupky s kluzným nebo valivým uložením. Na upínací desky se upínají činné části střížného nástroje a zároveň je za ně střížný nástroj upnut na lis.

Stojánky neboli skříň střížného nástroje jsou normalizovány, nebo jsou upraveny pro daný druh výroby. Pro postupové střížné nástroje je stojánek



dlouhý a úzký. Další konstrukční způsob vedení střížného nástroje je nástroj s vedením pomocí vodicí desky a nástroje bez vlastního vedení, tj. vedení lisem. [3]

- 1 – horní upínací deska
- 2 – vodicí pouzdro
- 3 – vodicí sloupek
- 4 – dolní upínací deska

**Obr. 13. Sloupkové vedení nástroje**



- **Další části střížných nástrojů**

Opěrná deska je umístěná mezi kotevní deskou a horní upínací deskou. Jedná se o ocelovou kalenou desku, která slouží k tomu, aby se hlavy střížníků při stříhání nezatlačovaly do horní upínací desky.

Kotevní deska je deska pro ukotvení a upnutí střížníků do střížného nástroje. Typy možných upevnění střížníků do kotevní desky jsou uvedeny v předešlé části kapitoly – střížníky.

Vodicí deska slouží pro přesné navedení střížníků vůči střížnici. Používá se v případě, že při konstrukci nástroje není zvoleno sloupkové vedení střížného nástroje.

Stopka je částí nástroje, za kterou je vrchní díl nástroje uchycen k beranu lisu. Pomocí stopky je nástroj na lisu vystředěn. Stopka je namáhána pouze při zpětném pohybu nástroje, čili při pohybu nahoru. Tvářecí sílu přenáší kontaktní plocha mezi nástrojem a beranem lisu. Stopka přenáší pouze stírací sílu a hmotnost vrchní části nástroje při pohybu nahoru.

### 3.3. Používané materiály pro výrobu střížných nástrojů

**Tab. 6. Vybrané materiály jednotlivých dílů střížných nástrojů**

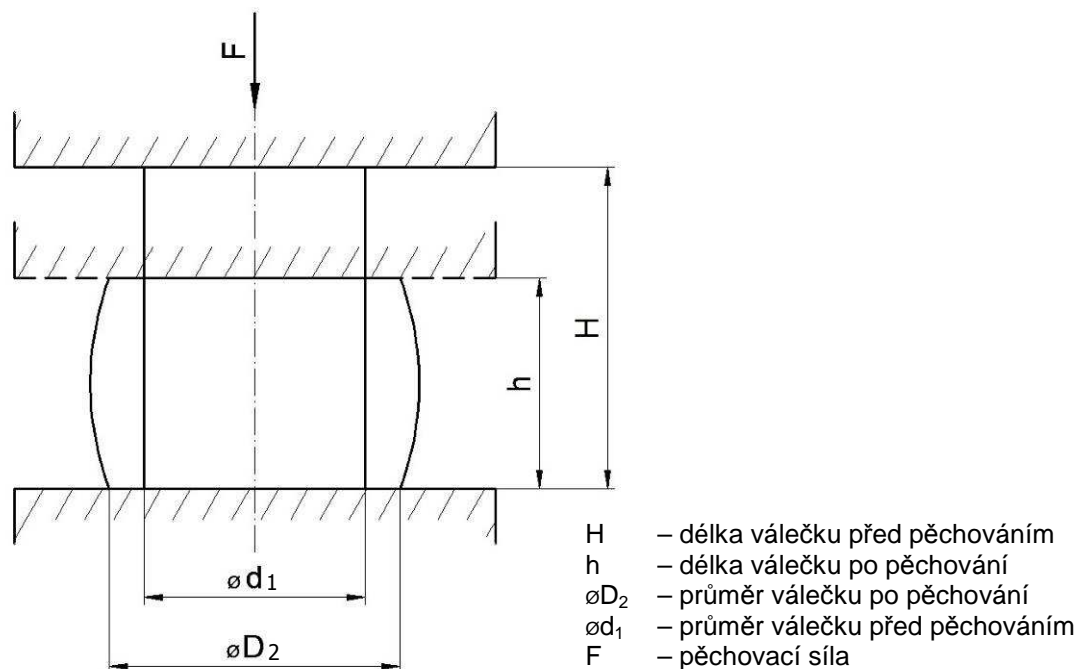
Část nástroje	Materiál ČSN	Tepelné zpracování
vodicí stojánky desky sloupky pouzdra	422456, 422661, 11500, 14220, 12061, 14220	} cementováno do hl. 0,5 mm HRC = 60 – 62
stopky	11600	
střížníky	19191, 19312, 19436, 19437, 19421	HRC = 61 – 63
střížnice	19191, 19312, 19436, 19437	HRC = 60 – 62
dorazy	12061, 19312, 19191, 19436, 19437	HRC = 56 ± 2
pouzdra ke střížníkům	19312	HRC = 52 – 56
vodicí, kotevní a upínací desky	11500, 12050	
základové desky nástrojů bez vedení	422424, 11375	
vodicí lišty	11600, 14220	cement., HRC = 60 – 62
hledáčky	14220, 19421	HRC = 56 – 60

## 4. Technologie pěchování – obecně

Lisování kuželového zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou je speciální způsob tváření materiálu. Standardní v praxi používané a v literatuře dostupné technologické procesy dostatečně nevystihují problém lisování kuželového zahloubení. Přesný průběh deformací a silových účinků je velmi složité popsat. Technologie pěchování alespoň zčásti přibližují problematiku lisování kuželového zahloubení do plechu.

### 4.1. Princip pěchování

Jedná se o technologii objemového tváření. Může probíhat za tepla i za studena. Jde o operaci, při níž se zmenšuje výška výchozího polotovaru za současného zvětšování průřezu. Při pěchování dostává polotovar soudkovitý tvar, který vzniká vlivem tření mezi plochami polotovaru a nástrojem. Tření brání volnému rozšiřování polotovaru u jeho čelních ploch. Vznikající soudkovitost lze ovlivnit mazáním kontaktních ploch mezi plochou polotovaru a nástroje, čímž se změní velikost tření. Menší tření způsobuje menší soudkovitost. [9]



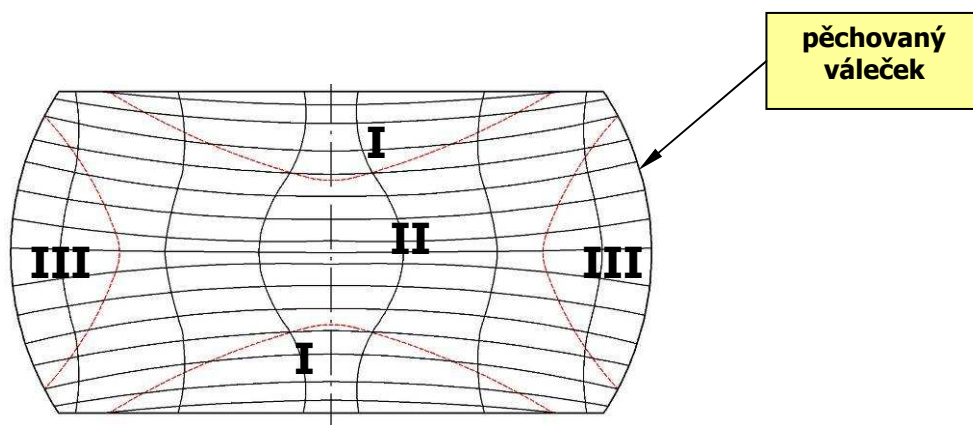
Obr. 14. Schéma pěchování

Při pěchování se zmenší výchozí výška  $H$  polotovaru na výšku  $h$ . Protože zde platí zákon zachování objemu při plastické deformaci, zvětší se při tom příčný rozměr polotovaru z původního průměru  $\varnothing d_1$  na průměr  $\varnothing D_2$ .

V technologických tvářecích pochodech jde vždy o nerovnoměrnou deformaci. K příčinám nerovnoměrné deformace patří:

- vnější tření na stykové ploše nástroje a tvářeného kovu
- tvar pásma deformace – tedy té části, která je pod přímým vlivem nástrojů
- nestejnorodé vlastnosti tvářeného kovu

Příkladem nerovnoměrné deformace vyvolané vnějším třením je přechování válečku. Z Obr. 15 je zřejmé, že pásmo deformace lze rozdělit na tři oblasti s rozdílnou velikostí místních deformací. [8]



**Obr. 15. Oblasti deformací v přechovaném válečku**

- Oblast I – Zde dochází ke styku materiálu s nástrojem a nazývá se oblastí přilnutí. Jsou tu téměř zanedbatelné deformace. Vliv třecích sil je nejsilnější na stykové ploše a směrem do nitra válečku slábne.
- Oblast II – Jedná se o oblast, kterou postihuje největší deformační účinek. Smyková napětí zde dosahují největších hodnot.
- Oblast III – V této oblasti probíhá deformace střední velikosti. Deformace je větší než v oblasti I a zároveň menší než v oblasti II. Současně tu vznikají tangenciální tahová napětí, jejichž velikost vzrůstá směrem k bočnímu povrchu válečku. [8]



## 4.2. Základní výpočtové vztahy:

pěchovací síla:  $F = \int_S k_o \cdot dS \text{ [N]}$  (10)

pěchovací práce:  $A_p = k_o \cdot V \cdot \ln \frac{H}{h} = k_o \cdot V \cdot \varphi \text{ [J]}$  (11)

skutečná deformace:  $\varphi = \ln \frac{H}{h} \text{ [%]}$  (12)

poměrná deformace:  $\varepsilon = \frac{H-h}{H} \cdot 100 \text{ [%]}$  (13)

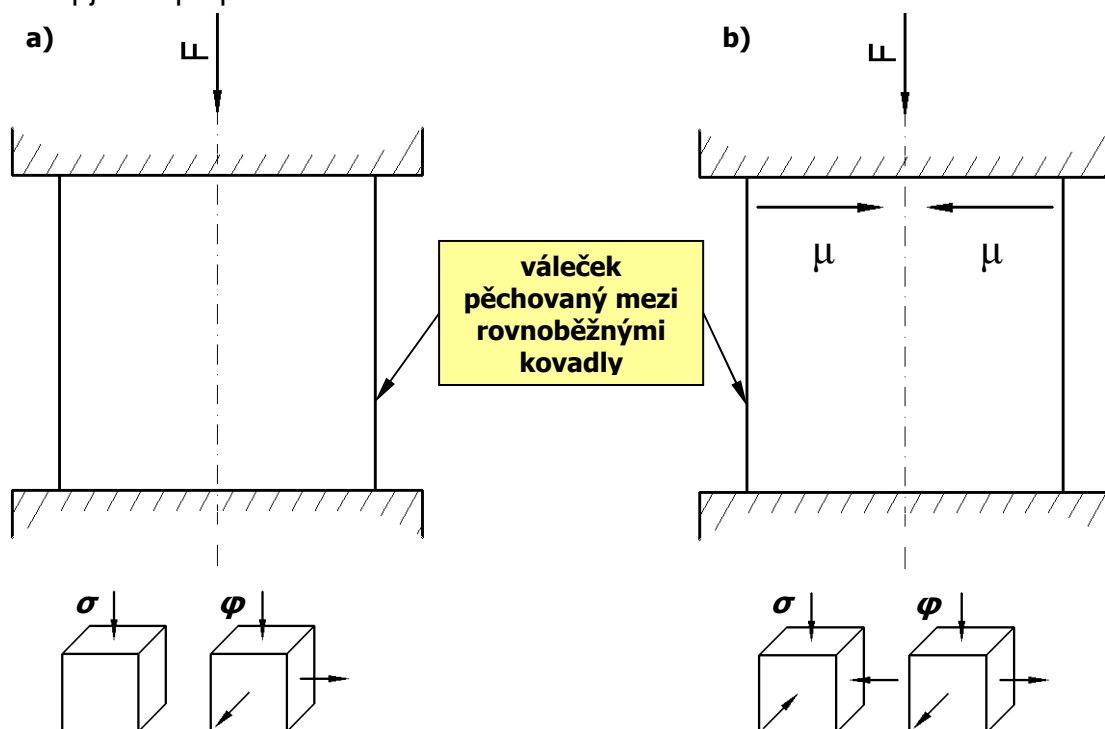
kde:  $F$  – pěchovací síla [N]       $\varphi$  – skutečná deformace [%]  
 $k_o$  – přetvárný odpor [MPa]       $\varepsilon$  – poměrná deformace [%]  
 $S$  – plocha pod kovádky [mm<sup>2</sup>]       $A_p$  – pěchovací práce [J]

$H$  – výška válečku před pěchováním [mm]

$h$  – výška válečku po pěchování [mm]

$V$  – objem pěchovaného válečku [mm<sup>3</sup>]

- Napjatost při pěchování:



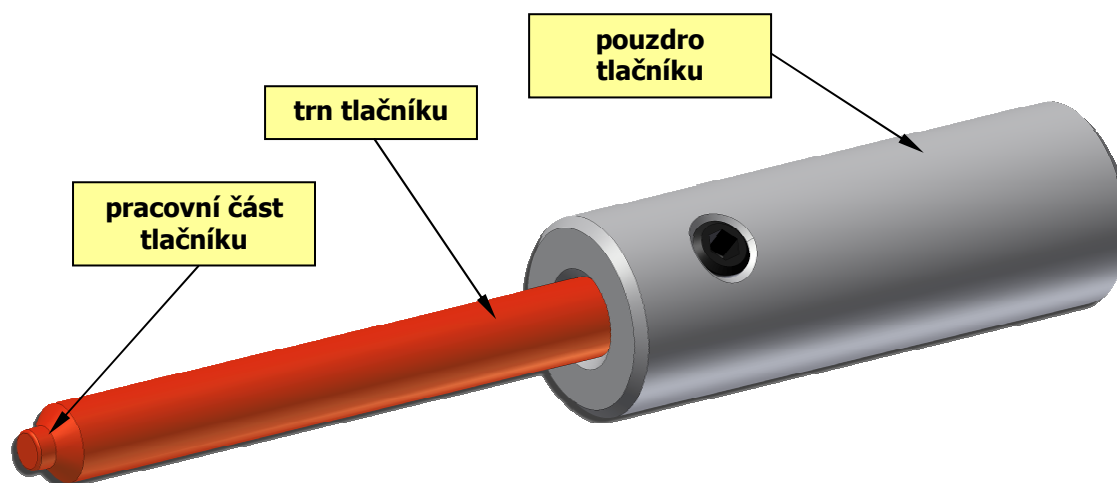
**Obr. 16. Schéma hlavních napětí a deformací [8]**

a) při pěchování s vyloučením vnějšího tření

b) při pěchování za součinnosti vnějšího tření

## 5. Teorie lisování kuželového zahloubení

Všechny návrhy lisování kuželového zahloubení mají společný základ. Tím je vlačování tělesa – tlačníku do materiálu. Tlačník (*Obr. 17*) má pracovní (lisovací) část tvarově shodnou s tvarem požadovaného zahloubení. Pracovní část tlačníku je při lisování v přímém styku s tvářeným materiálem. Vzhledem k pružným deformacím, které vznikají při lisování, se musí počítat s odpružením lisovaného kovu. Z toho plyne, že rozměr lisovací části musí být navržen tak, aby rozměry vylisovaného zahloubení odpovídaly rozměrům zadaným na skice součásti. U konstrukce tlačníku zobrazeného na obrázku *Obr. 17* se velikost odpružení eliminuje hloubkou vniknutí do zkušební vzorku.



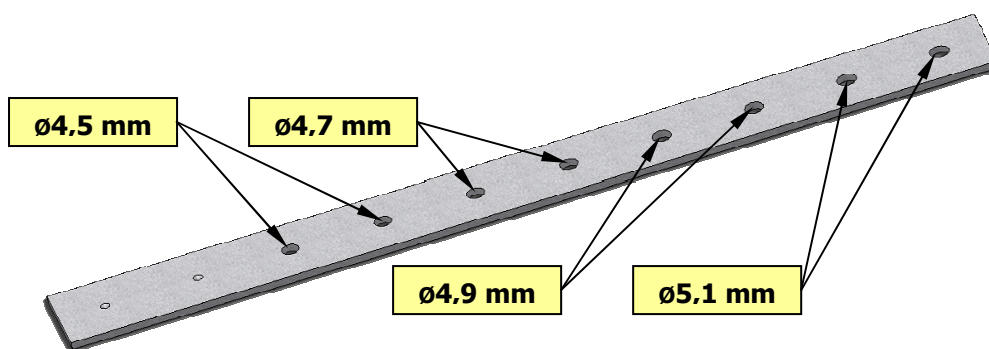
**Obr. 17. Model tlačníku**

Tato prvotní myšlenka vedla k provedení základního vstupního experimentu lisování kuželového zahloubení na velmi jednoduchém zkušebním přípravku.

### 5.1. Vstupní experiment lisování kuželového zahloubení

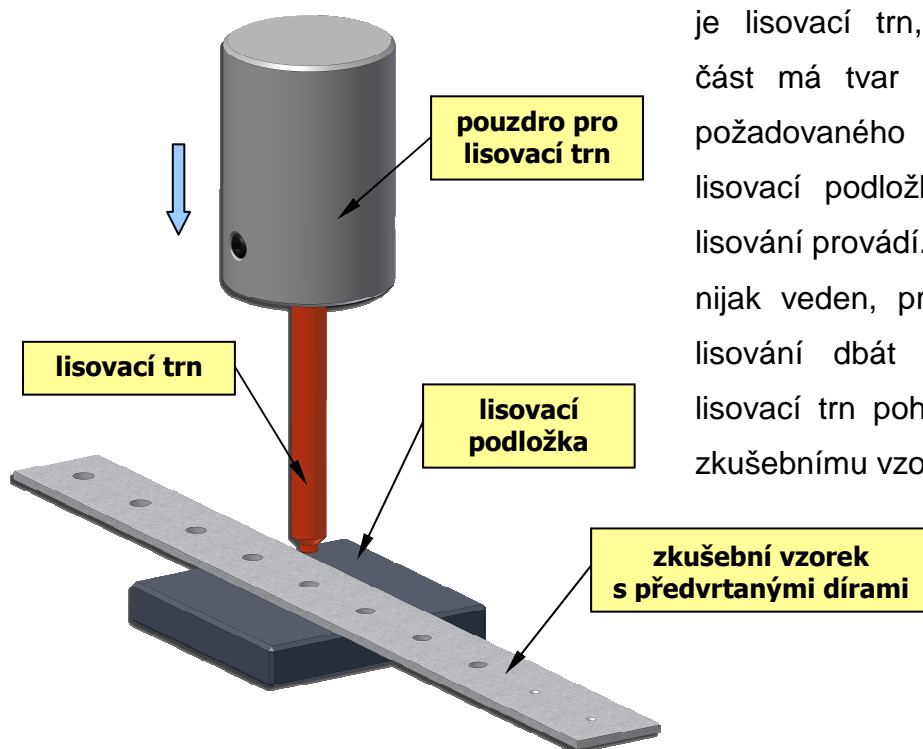
Cílem vstupního experimentu byla snaha zjistit, zda by bylo možné za určitých podmínek vylisovat pracovním trnem tlačníku do zkušební vzorku (ocelového pásu) otvor v podobě kuželového zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou. Výsledky vstupního experimentu byly vodítkem při sestavování další myšlenky lisování kuželového zahloubení a při návrhu dalších možných variant lisování kuželového zahloubení.

Princip tohoto experimentu spočívá ve vyvrtání několika děr o různých průměrech do zkušební vzorku a v následném lisování lisovacím trnem tlačníku. Osa lisovacího trnu je při lisování směřována do středu vyvrtané díry. Zkušebním vzorkem je pás plechu o délce 240 mm, šířce 23 mm a tloušťce 2 mm. Pás plechu byl ustřižen z tabule plechu na tabulových nůžkách. Materiál zkušební vzorku je ocel ČSN 11 320. Do zkušební vzorku byly vyvrtány díry o průměrech 4,5 mm; 4,7 mm; 4,9 mm a 5,1 mm (*Obr. 18*).



**Obr. 18. Předvrtaný zkušební vzorek**

Vstupní experimentální zkouška byla provedena na jednoduchém zkušebním přípravku. Zkušební přípravek se skládá pouze ze dvou částí, kterými

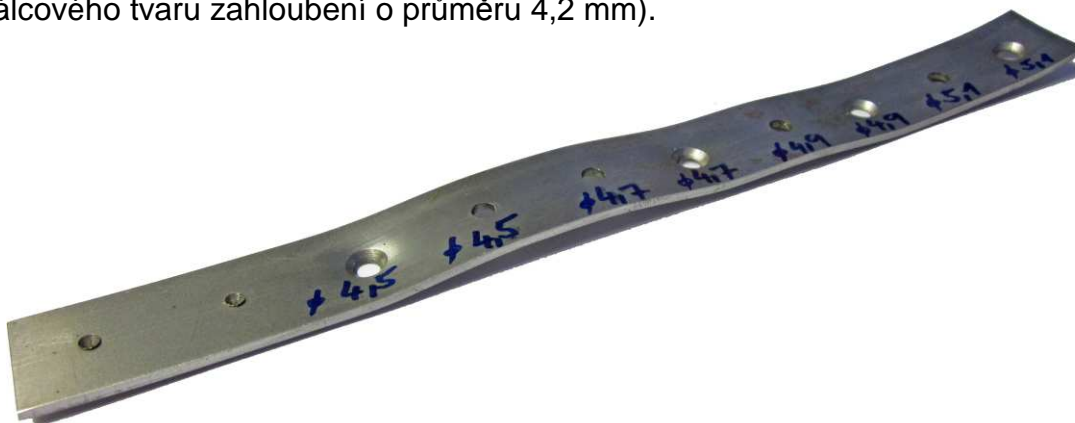


**Obr. 19. Jednoduchý lisovací přípravek**

je lisovací trn, jehož pracovní část má tvar shodný s tvarem požadovaného zahloubení, a lisovací podložka, na které se lisování provádí. Lisovací trn není nijak veden, proto je nutné při lisování dbát na to, aby se lisovací trn pohyboval kolmo ke zkušebnímu vzorku (*Obr. 19*).

Samotné lisování proběhlo na mechanicko – hydraulickém ručním lise. Průběh lisování je takový, že se na základovou desku lisu položí lisovací podložka, na ni se umístí předvrtaný zkušební vzorek a trnem se za působení tlaku lisu vylisuje zahloubení. Důležité je co nejpřesněji vůči sobě polohovat lisovací podložku, zkušební vzorek a lisovací trn. Správná poloha je dána souosostí lisovací podložky, předstřížené díry ve zkušebním vzorku a osy lisovacího trnu.

Při lisování kuželového zahloubení došlo k značné deformaci pásu oceli viz *Obr. 20*. Deformace se projevila zvlněním pásu a rozšířením pásu v okolí místa lisování. Tvar zahloubení není dokonalý, není symetrický a objevuje se nepřipustná deformace v okolí spodní části zahloubení (ve spodní části válcového tvaru zahloubení o průměru 4,2 mm).



**Obr. 20. Deformovaný zkušební vzorek**

Výsledky dosažené tímto základním experimentem byly očekávané. Test proběhl na jednoduchém přípravku, kde nebylo zaručené přesné vedení lisovacího trnu vůči zkušebnímu vzorku, ani přesná poloha zkušebního trnu vůči lisovací podložce. Při lisování se plech zohýbal, protože nebyl přidržován. Zkušební vzorek byl zhotoven stříháním na tabulových nůžkách, přesnost a kvalita povrchu střížné plochy neodpovídá kvalitě potřebné pro měření rozměrů deformace v šířce plechu. Tvar vylisovaného zahloubení je shodný s požadovaným tvarem zahloubení, ale neodpovídá potřebné jakosti. Na vylisovaných zahloubeních je vidět, že velikost předstřížené díry má vliv na konečný tvar zahloubení. Z důvodů velkých deformací zkušebního vzorku, které vznikly během lisování, a špatné jakosti tvaru vylisovaného zahloubení není vhodné pro další zkoušky používat tohoto přípravku.



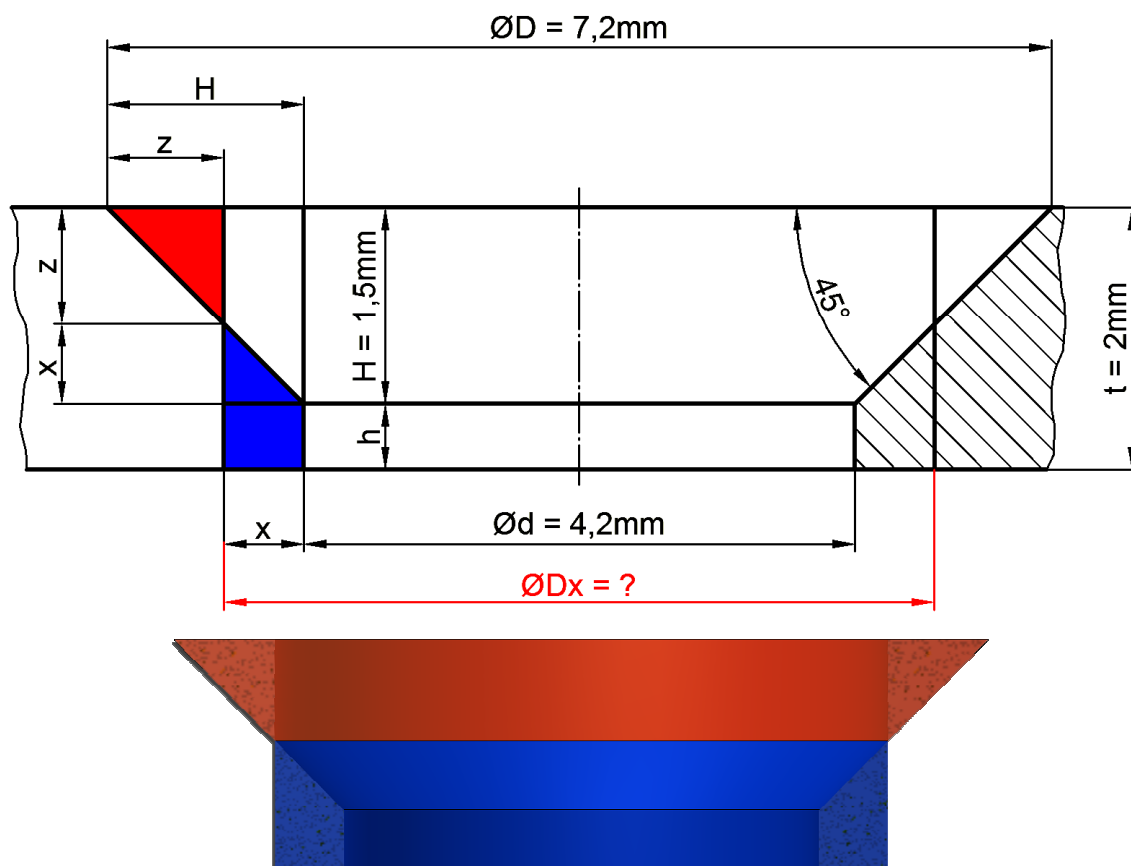
## 5.2. Nová koncepce lisování kuželového zahloubení

Nový návrh lisování kuželového zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou navazuje na provedený vstupní experiment. Základní myšlenka postupu lisování je principiálně stejná. Teorie vyvrtaných (vystřižených) děr a následné lisování zahloubení je ponechána. Je zde proveden matematický výpočet, z jehož výsledku je zřejmé, jak velký průměr díry by měl být zhotoven před lisováním zahloubení, aby bylo dosaženo požadovaného tvaru a jakosti kuželového zahloubení.

Hlavní rozdíl spočívá v konstrukci zkušebních nástrojů a jejich doplňků. Nástroje musí být navrženy a zkonstruovány speciálně tak, aby na nich bylo možné provádět zkoušky lisování zahloubení a aby byly odstraněny nedostatky vycházející z předešlého základního experimentu. Jedná se o jeden střížný nástroj sloužící k vystřižení díry do zkušebního vzorku a jeden lisovací nástroj pro zhotovení kuželového zahloubení. V předchozím případě se díry do vzorku vrtaly, zde se budou vystřihovat. K tomuto kroku vedl fakt, že operace vystřižení díry i následné lisování kuželového zahloubení by měly být zařazeny do postupového lisovacího nástroje. Průměr vystřižené díry vychází z matematického výpočtu. Další změna bude v použitých zkušebních vzorcích, které mají odlišné rozměry a jsou speciálně obrobena pro možnost měření rozměrů zkušebního vzorku po vylisování zahloubení.

## 5.3. Výpočet průměru vystřižené díry

Při promyšlení problému a při použití základního experimentálního předpokladu, že se kuželové zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou bude lisovat na dva kroky (první krok – vystřižení díry, druhý krok – vylisování kuželového zahloubení), je otázkou, jak velký by měl být průměr předstřiženého otvoru  $D_x$ . Při rozkreslení a promyšlení problému je zde teorie předstřižení většího průměru díry  $D_x$ , než je menší průměr kuželového zahloubení  $\phi d = 4,2mm$  (průměr válcové části zahloubení) a zároveň menšího průměru díry  $D_x$ , než je větší průměr kuželového zahloubení  $\phi D = 7,2mm$ . (Pozn.: uvažuje se rovná střížná plocha)

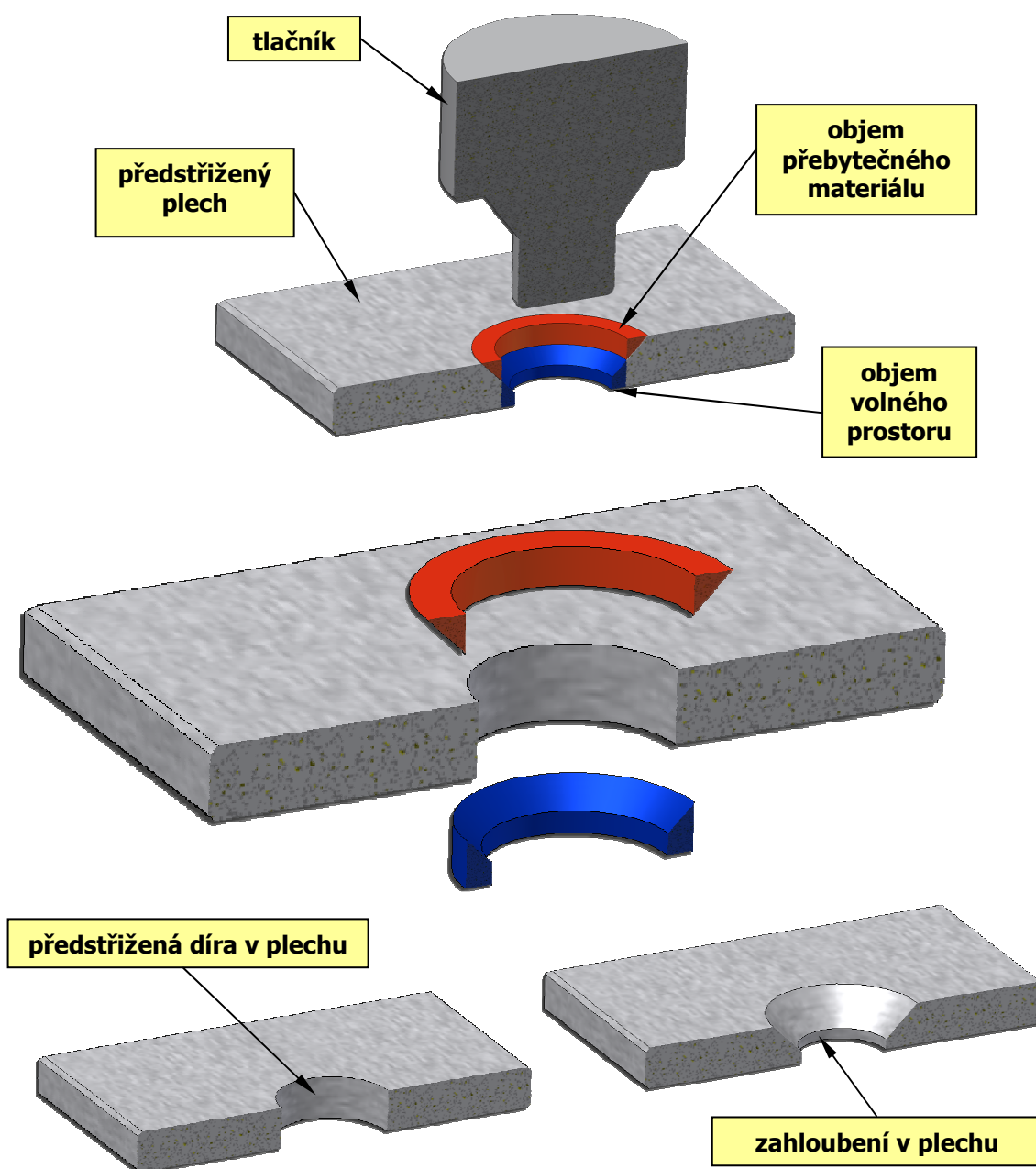


**Obr. 21. Schéma s kótami pro výpočet**

Na obrázku *Obr. 21* je zakreslen řez zahloubením. Výpočet je založen na pravidle zákona o zachování objemu při tváření. Cílem je vypočítat, jak velký průměr díry je třeba předstříhnout, aby se obsah červené plochy rovnal obsahu modré plochy. Z vypočtených obsahů zakreslených ploch se dají vypočítat objemy prstenců. Z obrázku je zřejmé, že čím bude průměr předstřižené díry větší, tím bude obsah červené plochy menší a naopak. Při předstřižení díry o průměru větším jak  $\phi d$  a menším jak  $\phi D$  do plechu znamená červená plocha přebytečný materiál, který je třeba přemístit lisováním do volného místa modré plochy. Červená plocha tedy představuje při promítnutí řezu zahloubení do řezu předstřižené díry v plechu přebytečný materiál a modrá plocha volný prostor. Modrá plocha je pro usnadnění výpočtu rozdělena na obdélník a trojúhelník. Podle zákona o zachování objemu při tváření se musí objem červeného prstence rovnat objemu modrého prstence. Na základě této podmínky je možno vypočítat průměr vystřižené díry ve zkušebním vzorku. Toto je teoretický předpoklad a

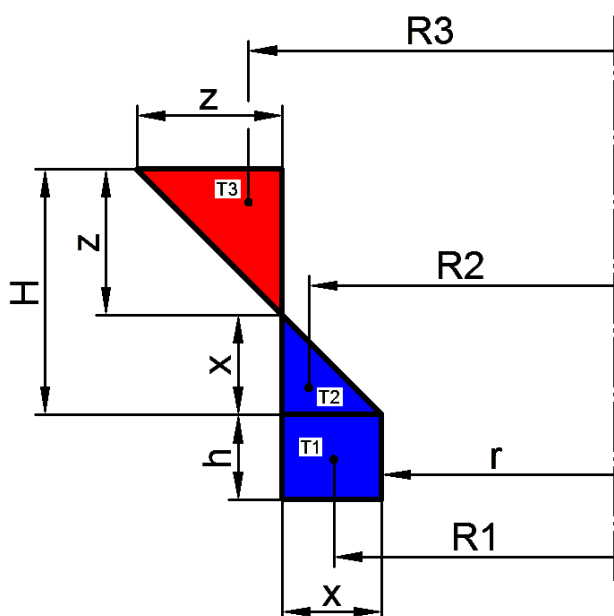
bude platit jen za předpokladu, že se materiál bude přemísťovat do míst přesně tak, jak je naznačeno na obrázcích.

Pro lepší představivost je problém naznačen ve 3D řezech. Na *Obr. 22* je stejný řez jako na *Obr. 21*. Použitím 3D modeláře Autodesk Inventor vzniká možnost ověření správnosti výpočtu, neboť program dokáže vyjádřit objem jednotlivých prstenců.



**Obr. 22.** Naznačení problému ve 3D





$$x = H - z \Rightarrow z = H - x \quad (14)$$

$$S_{1T} = \frac{z^2}{2} = \frac{(H-x)^2}{2} \quad (15)$$

$$S_{2T} = \frac{x^2}{2} \quad (16)$$

$$S_{2O} = x \cdot h \quad (17)$$

**Obr. 23. Poloha těžišť jednotlivých obrazců**

Jelikož se jedná o rotační prvky – prstence, lze aplikovat Guldinovu větu. Pomocí obsahů ploch jednotlivých obrazců a poloh jejich těžišť od středové osy lze vyjádřit jejich objem pomocí vzorce:

$$V = S \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_T \quad (18)$$

Použitím zákona zachování objemů při tváření musí platit, že objem červeného prstence vyjadřující objem přebytečného materiálu, tj. objem  $V_1$ , se musí rovnat objemu modrého prstence vyjadřujícímu objem volného prostoru, tj. objemu  $V_2$ . K výpočtům náleží obrázky *Obr. 21*, *Obr. 22*, *Obr. 23*.

$$V_1 = V_2 \quad (19)$$

$$V_1 = V_{1T} = S_{1T} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_3$$

$$V_2 = V_{2T} + V_{2O} = S_{2T} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_2 + S_{2O} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_1$$

$$R_1 = r + \frac{x}{2}; R_2 = r + \frac{2}{3} \cdot x; R_3 = r + x + \frac{1}{3} \cdot (H - x) \quad (20)$$

$$V_1 = \frac{(H-x)^2}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left( r + x + \frac{1}{3} \cdot (H-x) \right)$$

$$V_2 = \frac{x^2}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left( r + \frac{2}{3} \cdot x \right) + x \cdot h \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left( r + \frac{x}{2} \right)$$





$$\begin{aligned} \frac{(H-x)^2}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left( r + x + \frac{1}{3} \cdot (H-x) \right) &= \frac{x^2}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left( r + \frac{2}{3} \cdot x \right) + x \cdot h \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left( r + \frac{x}{2} \right) \\ (H-x)^2 \cdot \pi \cdot r + (H-x)^2 \cdot \pi \cdot x + (H-x)^3 \cdot \frac{\pi}{3} &= x^2 \cdot \pi \cdot r + x^3 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3} + \\ + 2 \cdot x \cdot h \cdot \pi \cdot r + x^2 \cdot h \cdot \pi \\ (H-x)^2 \cdot \pi \cdot r + (H-x)^2 \cdot \pi \cdot x + (H-x)^3 \cdot \frac{\pi}{3} &= x \cdot 2 \cdot h \cdot \pi \cdot r + x^2 \cdot (h \cdot \pi + \pi \cdot r) + \\ + \frac{2}{3} \cdot x^3 \cdot \pi \end{aligned}$$

Levá strana rovnice vyjadřuje objem prstence přebývajícího materiálu (červený prstenec) a pravá strana rovnice vyjadřuje objem prstence volného prostoru (modrý prstenec). Pro splnění podmínky zákona zachování objemů se musí pravá strana rovnice rovnat levé. Řešením rovnice za použití programu Microsoft Excel 2003 je hodnota  $x = 0,61 \text{ mm}$ . Průměr vystřižené díry tedy je:

$$D_x = 2 \cdot r + 2 \cdot x = 2 \cdot 2,1 + 2 \cdot 0,61 = 5,42 \text{ [mm]} \quad (21)$$

kde: $t$	– tloušťka materiálu [mm]
$H, h, z$	– rozměry vyplývající z obrázků [mm]
$S, S_{1T}, S_{2T}, S_{2O}$	– obsahy ploch jednotlivých obrázků [mm <sup>2</sup> ]
$V, V_1, V_2, V_{1T}, V_{2T}, V_{2O}$	– objemy prstenců [mm <sup>3</sup> ]
$R_T, R_1, R_2, R_3$	– poloměry těžišť jednotlivých ploch [mm]
$r$	– poloměr válcové části zahloubení [mm]
$x$	– neznámá [mm]
$D_x$	– průměr předstřižené díry [mm]

Průměr vystřižené díry musí být  $D_x = 5,42 \text{ mm}$ . Při tomto průměru vystřižené díry by mělo dojít k přemístění přebývajícího materiálu znázorněného červeným prstencem do míst volného prostoru znázorněného modrým prstencem. K přemístění materiálu směrem k ose vystřižené díry dojde jen za předpokladu, že se materiál nepřemístí jiným směrem. Čili materiál musí „téct“ pouze směrem ke středu díry. Správnost výpočtu byla ověřena pomocí 3D modeláře, který umí změřit objemy vymodelovaných prstenců (Obr. 22). Rozměry prstenců vycházejí z vypočteného průměru předstřižení  $D_x$  a dalších rozměrů vyplývajících ze zadaných rozměrů zahloubení.



#### 5.4. Varianty lisování kuželového zahloubení

- lisování na dva kroky: První krok spočívá ve vystřížení kruhového otvoru o určitém průměru do zkušební vzorku. Ve druhém kroku následuje vtlačování tlačníku do zkušební vzorku. Při lisování směřuje osa tlačníku do osy vystřížené díry ve zkušebním vzorku.
- lisování na tři kroky s předlisováním: V prvním kroku dojde k vystřížení díry určitého průměru do zkušební vzorku. Ve druhém kroku se do zkušební vzorku vtlačuje předlisovací tlačník, jehož pracovní část má odlišný tvar, než je tvar kuželového zahloubení. Při lisování osa předlisovacího tlačníku směřuje do osy vystřížené díry ve zkušebním vzorku. Úkolem předlisovacího tlačníku je předlisovat otvor pro následné dolisování. Ve třetím kroku dojde k dolisování kuželového zahloubení tlačníkem stejného tvaru, jako je tvar zahloubení. Osa dolisovacího tlačníku směřuje při lisování do osy předlisovaného otvoru ve zkušebním vzorku.
- lisování do plného materiálu na dva kroky: U tohoto způsobu lisování kuželového zahloubení je tlačník shodného tvaru, jako je tvar zahloubení, vtlačován do plného (nepředstříženého) zkušební vzorku. Ve druhém kroku dojde k vystřížení kruhového otvoru. Při stříhu osa střížníku směřuje do osy vylisovaného otvoru.

Pozn.: Všechny uvedené způsoby lisování budou podrobně vysvětleny a rozšířeny v *kap. 7: Experimentální zkoušky lisování kuželového zahloubení pro šrouby se zápuštnou hlavou*.



## **6. Konstrukční návrh zkušebních nástrojů a výroba zkušebních nástrojů**

Pro experimentální zkoušky lisování kuželového zahloubení je nutné zkonstruovat a vyrobit zkušební nástroje s potřebnými doplňky. Na nich se budou provádět experimentální zkoušky lisování kuželového zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou. Konstrukce zkušebních nástrojů musí splňovat všeobecné zásady při návrhu nástrojů, zejména účelnost, jednoduchost, univerzálnost v podobě možné záměny dílů a další. Výrobní skici a postupy pro výrobu zkušebních nástrojů jsou provedeny podle firemních zvyklostí. Jednotlivé díly zkušebních nástrojů se budou vyrábět na strojním vybavení firmy NAF, a.s. Tomuto faktu je nutné přizpůsobit konstrukci nástrojů.

Vzhledem k použité myšlence o teorii lisování kuželového zahloubení navazuje konstrukční návrh na předchozí části práce. Teorií lisování kuželového zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou je vylisování zahloubení na dva kroky. V prvním kroku dojde k předstřížení kruhové díry o výpočtem stanoveném průměru a v druhém kroku dojde k samotnému lisování zahloubení do plechu, přičemž každý krok probíhá v jiném nástroji.

K předstřížení díry o stanoveném průměru 5,42 mm je třeba zkonstruovat jednoduchý střížný nástroj, který vystříhne díru do zkušební vzorku. Daný průměr vychází z teoretického návrhu, který nemusí být potvrzen. Proto je vhodné střížný nástroj navrhnout tak, aby mohly být jeho pracovní části jednoduše vyměněny za jiné. Zkušební nástroj bude použit na stříhání několika desítek kusů, proto je navržen jednoduše a nejsou zde kladeny takové nároky jako u běžných střížných nástrojů pracujících v sériové výrobě.

Nástroj pro druhou operaci slouží k vylisování kuželového zahloubení. Stejně jako u střížného nástroje i tento bude použit na vylisování několika desítek zahloubených otvorů. Proto je konstrukce volena jednoduše s ohledem na možnou výměnu funkčních částí.

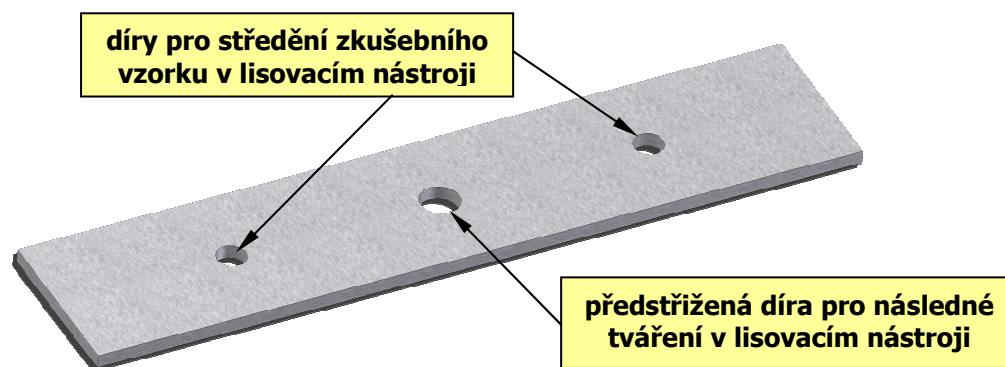
Oba zkušební nástroje jednoduché konstrukce budou použity na vylisování malého množství vzorků. Z těchto důvodů je zvolen návrh dvou oddělených, nikoli jednoho sdruženého nástroje.

Experimentální zkoušky navazují na již provedenou vstupní experimentální zkoušku, která byla popsána výše. Jednoduchý zkušební přípravek (*Obr. 19*) měl závažné nedostatky. Cílem konstrukce nových zkušebních nástrojů je tyto nedostatky odstranit. V porovnání s jednoduchým zkušebním přípravkem použitým při vstupním experimentu má být nový zkušební lisovací nástroj podstatně tužší konstrukce a musí mít vedení lisovacího trnu (tlačníku) s možností přidržování zkušební vzorku.

### 6.1. Konstrukce střížného zkušebního nástroje pro vystřížení děr

Rozměry střížného nástroje se odvíjí od rozměru zkušební vzorku a jeho materiálu. Zkušební vzorek má dané parametry, kterými je tloušťka pásu (2 mm), šířka pásu (23 mm) a materiál pásu (ocel ČSN 11 320). Volný parametr je délka pásu. Délka pásu zkušebních vzorků je zvolena 110 mm.

Střížný nástroj slouží k předstřížení kruhového otvoru o výpočtem stanoveném průměru 5,42 mm do zkušební vzorku a k vystřížení dvou technologických kruhových otvorů o průměru 4 mm pro středění zkušební vzorku v druhém lisovacím nástroji.



**Obr. 24. Předstřížený zkušební vzorek**

Hlavní význam má předstřížený otvor o průměru 5,42 mm, který byl stanoven z dřívějšího výpočtu. Tento průměr byl vypočítán na základě teoretického předpokladu. Z praktického hlediska není jasné, zda při tomto předstříženém průměru díry dojde v druhém kroku k vyhlisování zahlobení požadovaného tvaru a rozměrů. Proto je třeba, aby bylo možné měnit střížník a střížnici zhotovující předstříženou díru. Střížník a střížnice pro vystřížení



středicích děr není třeba měnit. Středicí díry zůstanou vždy stejného průměru, i když dojde ke změně průměru předstřižené díry.

- **Základní výpočty pro konstrukci střížného nástroje**

- **Střížná síla dle (3) :**

$$F_s = (1 \text{ až } 1,3) \cdot S_s \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,2 \cdot \pi \cdot (\phi D_1 + \phi D_2 + \phi D_3) \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m =$$

$$= 1,2 \cdot \pi \cdot (5,42 + 4 + 4) \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 320 = 25903 \text{ [N]} \cong 2,64 \text{ [t]}$$

kde:  $\phi D_1, \phi D_2, \phi D_3$  – průměry stříhaných děr [mm]

- **Střížná práce dle (6):**

$$A_w = k_{Aw} \cdot F_s \cdot t = 0,60 \cdot 25903 \cdot 0,002 = 31,1 \text{ [J]}$$

- **Těžiště střížné síly**

Součást je symetrická, proto není nutné provádět výpočet. Těžiště výslednice střížných sil je uprostřed součásti, tj. v ose předstřižené díry (průměr 5,42 mm). V tomto místě se umístí stopka střížného nástroje.

- **Střížná vůle**

Střížná vůle je volena dle *Tab. 5*. V tabulce jsou tučně zvýrazněny hodnoty střížné vůle. Je volena střížná vůle  $v = 0,12 \text{ mm}$ , střížná mezera je  $m_s = 0,06 \text{ mm}$ . Rozměry střížníků a střížnic závisí na potřebném průměru otvoru ve zkušebním vzorku. Jedná se o děrování. Výchozí rozměr určují střížníky a střížná vůle je na úkor střížnice. Rozměrové tolerance střížníků a střížnic vycházejí z praxe.

**Tab. 7. Rozměry střížníků a střížnic**

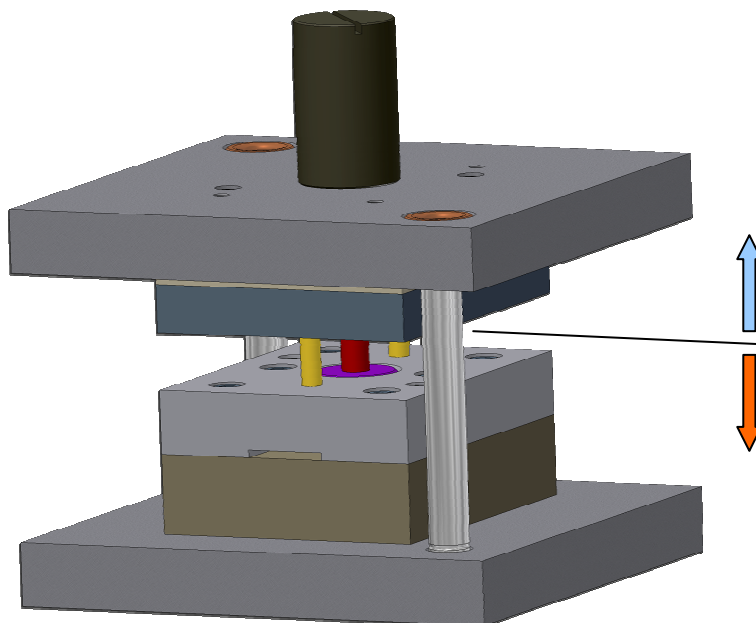
Potřebný průměr díry ve zkušebním vzorku $\phi D_d \text{ [mm]}$	Průměr střížníku $\phi D_{Su} \text{ [mm]}$	Průměr střížnice $\phi D_{Se} \text{ [mm]}$
5,42	5,42 ± 0,01	5,54 ± 0,01
4,01	4,01 ± 0,01	4,13 ± 0,01

- **Výška střížnice dle (8):**

$$V_s = (0,22 \text{ až } 0,18) \cdot b = 0,2 \cdot 110 = 22 \text{ mm} \Rightarrow \text{zvoleno } 25 \text{ mm}$$

## 6.2. Části střížného nástroje, popis a funkce střížného nástroje

Navržený střížný nástroj (*Obr. 25*) slouží k vystřížení třech kruhových děr do zkušebního vzorku. Zkušební vzorek v podobě ocelového pásu daných rozměrů je do nástroje vkládán a vyjímán ručně. Ve střížném nástroji dojde pouze k vystřížení tří otvorů, nikoli k dělení pásu zkušebního vzorku na délku, ani k ostříhování obvodu pásu zkušebního vzorku.

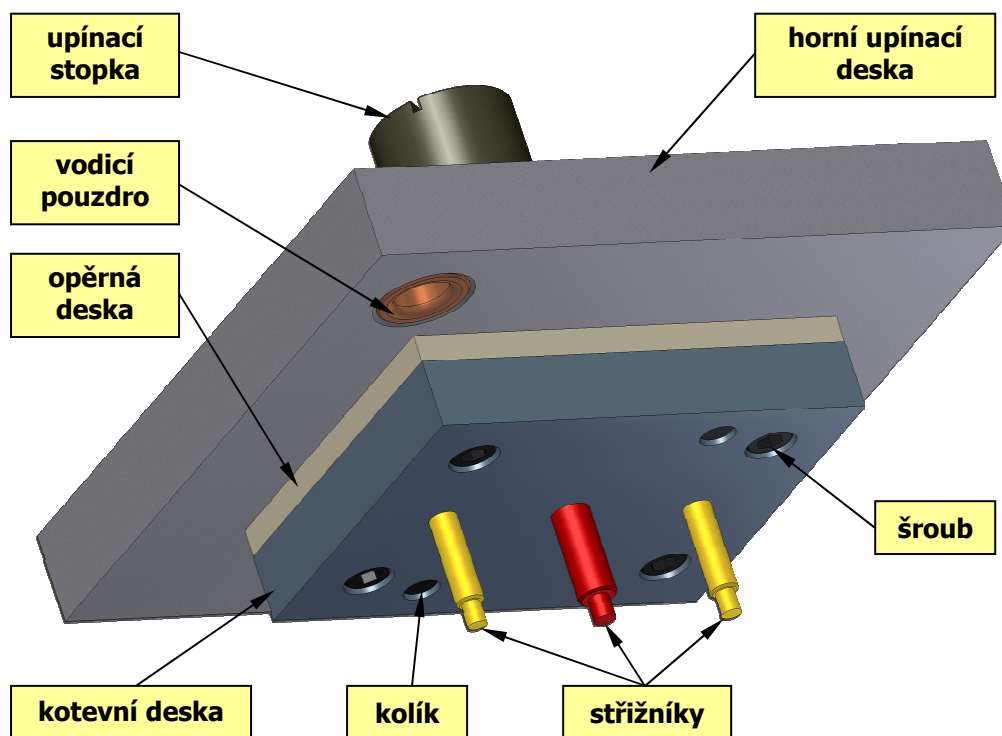


**Obr. 25. Model navrženého střížného nástroje**

Střížný nástroj lze rozdělit na horní pohyblivou část, která je upnuta při stříhání k beranu lisu, a dolní pevnou část upnutou při stříhání k základové desce lisu. Pohyblivá horní část nástroje je vyznačena modrou šipkou na *Obr. 25* a pevná část střížného nástroje je vyznačena oranžovou šipkou na *Obr. 25*. Obě tyto části jsou vůči sobě přesně vedeny pomocí vodicích sloupků.

Horní část střížného nástroje (*Obr. 26*) se skládá ze tří desek – horní upínací deska, opěrná deska, kotevní deska. Přesnou polohu těchto deskových částí horního dílu střížného nástroje vůči sobě zajišťují kolíky. Desky jsou k sobě smontovány pomocí šroubů. Další díly horní sestavy střížného nástroje jsou dva střížníky o průměru střížné části 4,01 mm a jeden střížník (výměnný) o průměru střížné části 5,42 mm, vodicí pouzdra a upínací stopka. Střížníky mají válcovou hlavu, která se při stříhu opře o kalenou opěrnou desku, a nedochází tak k jejich zatlačování do horní upínací desky a mají osazení, které rozděluje střížnou část střížníku od vodicí části střížníku. Střížníky jsou ukotveny (upnuty) v kotevní

desce. Vodicí kluzná pouzdra pro vodicí sloupky jsou zalisovaná v horní upínací desce. Upínací stopka slouží k upnutí horní části střížného nástroje k beranu lisu.

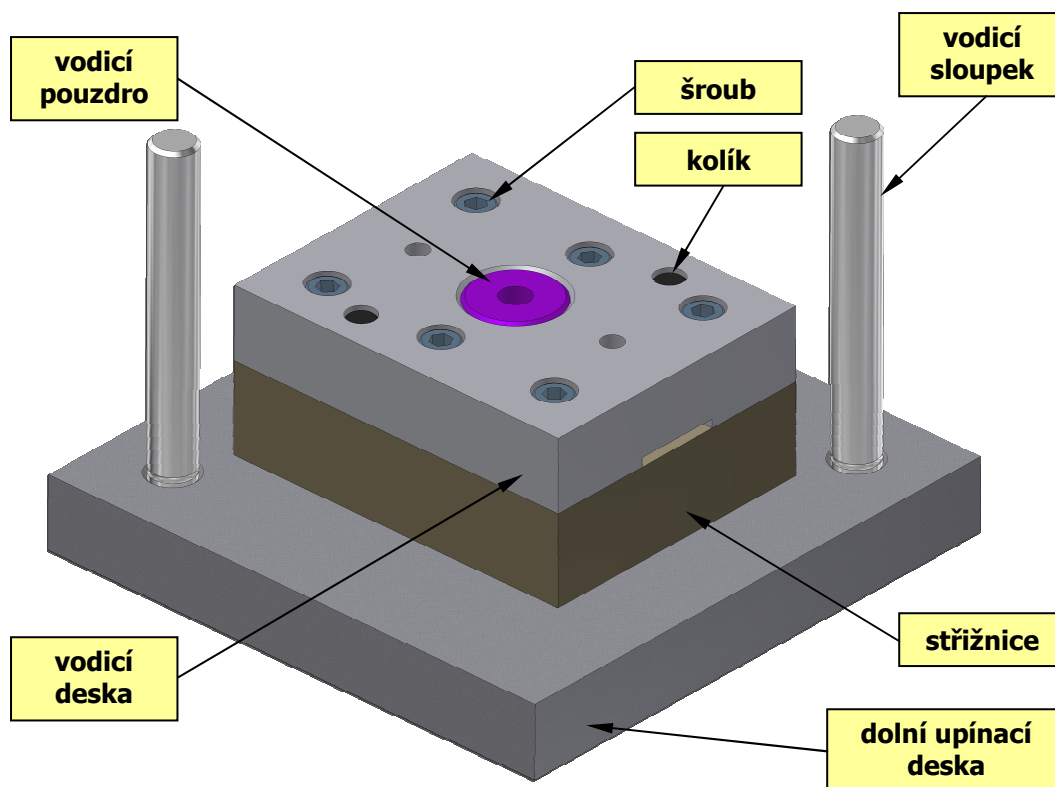


**Obr. 26. Horní pohyblivá část střížného nástroje**

Dolní část střížného nástroje (*Obr. 27*) má také tři desky, jejichž přesnou polohu vůči sobě zajišťují kolíky, a jsou k sobě smontovány pomocí šroubů. Desky dolní části střížného nástroje jsou – dolní upínací deska, střížnice a vodicí deska. V dolní upínací desce musí být otvory pro vypadávání odpadu ze střížnice a otvory pro zalisování vodicích sloupků. Vodicí sloupky se zalisují kolmo k dolní upínací desce. Střížnice je konstruována tak, že dva střížné otvory o průměru 4,13 mm jsou zhotoveny přímo v desce střížnice. Pro třetí střížný otvor o průměru 5,54 mm je vyrobena střížná vložka (výměnná), která je do střížnice zalisovaná. Střížná vložka má válcový tvar a zalisuje se do válcového vybrání ve střížnici. Pro případ potřebného vylisování střížné vložky jsou zespodu střížnice otvory, které vylisování umožní. Vodicí deska slouží pro přesné navedení střížníků vůči střížnici a zároveň zajišťuje vedení zkušební vzorku v nástroji.



Vodicí deska má dva vodící otvory pro vedení střížníků o průměru střížné části 4,01 mm, které jsou zhotoveny přímo ve vodící desce. Pro vedení třetího střížníku o průměru střížného otvoru 5,42 mm je do vodící desky zalisováno vodící pouzdro.



**Obr. 27. Dolní pevná část střížného nástroje**

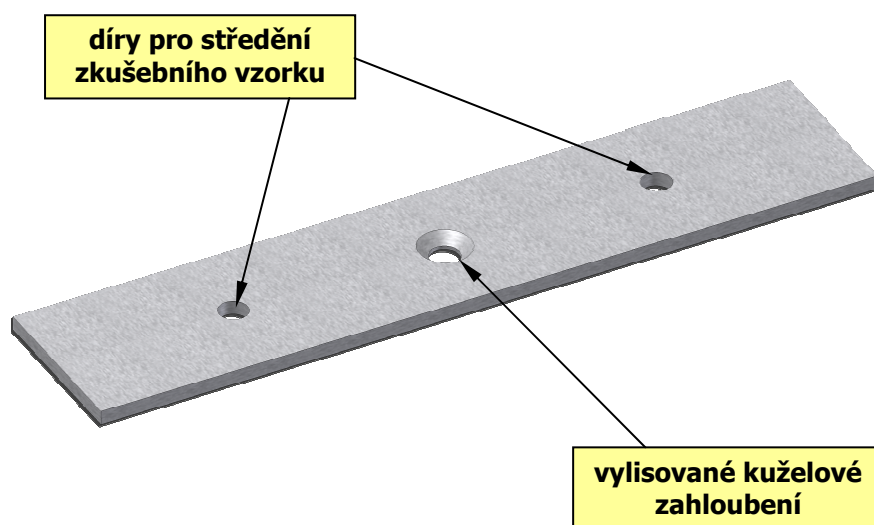
Použité materiály při konstrukci nástroje lze rozdělit do dvou skupin. Jednu skupinu tvoří materiály použité na činné části střížného nástroje. To jsou takové části, které přímo provádějí stříhání a jsou ve styku se stříhaným materiálem. Druhou skupinu tvoří materiály použité na konstrukční části. Tyto části nástroje zajišťují funkci nástroje. Materiály, které se běžně používají na konstrukci střížných nástrojů, jsou uvedeny v *Tab. 6*. Materiály částí zkušebního střížného nástroje jsou voleny podle praktických zkušeností firmy NAF, a. s. a vzhledem k zásobám v materiálovém skladu firmy. Na výrobních skicách, které jsou součástí této práce, jsou uvedeny materiály jednotlivých dílů a jejich tepelné zpracování. Soubor výrobních skic ke střížnému nástroji obsahuje detailní rozkreslení jednotlivých částí střížného nástroje, které umožňuje hlubší porozumění tomuto návrhu, a je obsažen v *příloze 3*.



### 6.3. Konstrukce lisovacího zkušebního nástroje pro vylisování kuželového zahloubení

Rozměry zkušebního lisovacího nástroje se odvíjejí od velikosti zkušebního vzorku, kterým je ocelový pás se třemi dírami předem vystřiženými pomocí střížného nástroje. Rozměry pracovních částí lisovacího nástroje jsou odvozeny od rozměrů pracovních částí jednoduchého přípravku použitého v již provedeném vstupním experimentu, kde nedošlo k deformaci ani poškození žádných částí přípravku.

Zkušební lisovací nástroj slouží k vylisování kuželového zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou vtlačení pracovní části tlačníku do zkušebního vzorku. Tím by mělo dojít k vylisování kuželového zahloubení požadovaných rozměrů a tvarů (*Obr. 28*) v oblasti předem vystřižené díry o průměru 5,42 mm.

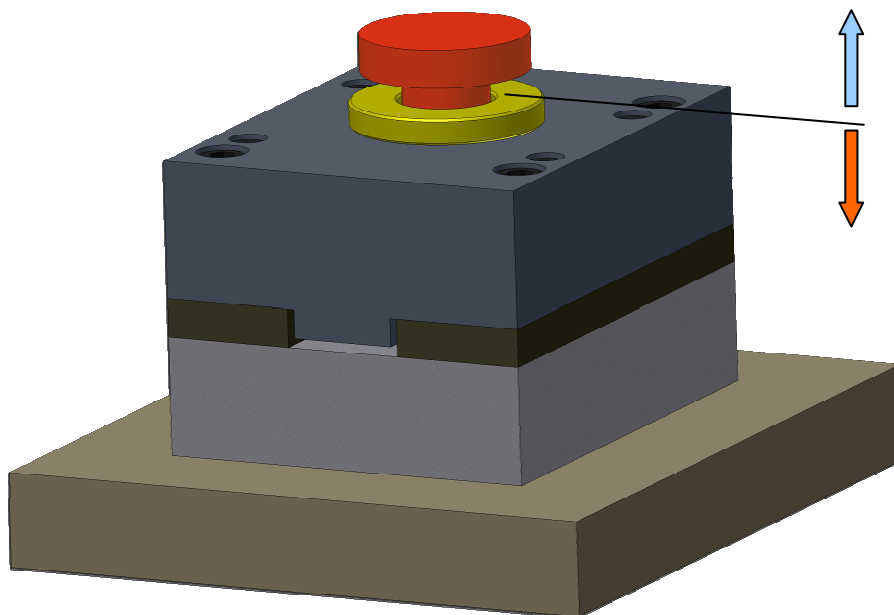


**Obr. 28.** Vylisované zahloubení ve zkušebním vzorku

Průměr předstřižené díry 5,42 mm, ze kterého by mělo dojít k vylisování kuželového zahloubení o požadovaném tvaru a rozměru, vychází z teoretického výpočtu. Z tohoto důvodu je nutné počítat s možností nezdařilého vylisování zahloubení a je nutné zahrnout do návrhu lisovacího nástroje možnost výměny pracovních částí nástroje (podobně jako při konstrukci střížného nástroje).

#### 6.4. Části lisovacího nástroje, popis a funkce lisovacího nástroje

Lisovací nástroj slouží k vylisování kuželového zahloubení do zkušebního vzorku s předem vystřiženými dírami. Zkušební vzorek (*Obr. 24*) s dvěma vystřiženými dírami o průměru 4 mm (pro polohování zkušebního vzorku v lisovacím nástroji) a jednou vystřiženou dírou o průměru 5,42 mm (předstřižená díra pro následné dolisování) je do lisovacího nástroje vkládán ručně. Po vylisování je zkušební vzorek vyjmut také ručně. Vkládání a vyjímání zkušebního vzorku je poněkud komplikovanější a pracnější, než u střížného nástroje. Lisovací nástroj se musí částečně demontovat, aby bylo možné zkušební vzorek založit na středící kolíky stanovující přesnou polohu zkušebního vzorku v lisovacím nástroji a po vylisování v opačném sledu vyjmout z nástroje.

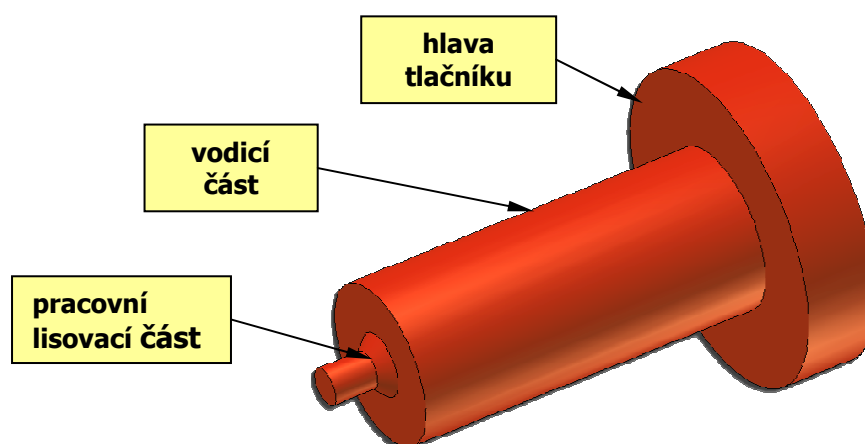


**Obr. 29. Model navrženého lisovacího nástroje**

Lisovací nástroj lze rozdělit na pohyblivou část lisovacího nástroje naznačenou na *Obr. 29* modrou šipkou a pevnou (nepohyblivou) část lisovacího nástroje naznačenou na *Obr. 29* oranžovou šipkou. Jedinou pohyblivou částí lisovacího zkušebního nástroje je tlačník. Při lisovacím procesu není upnutý k pístu mechanicko – hydraulického ručního lisu, pouze se o něj opírá při pracovním pohybu směrem dolů. Při zpětném pohybu pístu mechanicko – hydraulického ručního lisu směrem nahoru tlačník zůstává v dolní poloze. Nepohyblivou část lisovacího nástroje tvoří desky lisovacího nástroje, které jsou

k sobě smontovány pomocí šroubů, a jejich vzájemná poloha je dána kolíky. Další potřebné díly jsou do desek zalisované. Smontované desky spolu s zalisovanými díly tvoří celek, který je při lisování položen na pracovní stůl mechanicko – hydraulického ručního lisu (nemusí být k pracovnímu stolu lisu upnut).

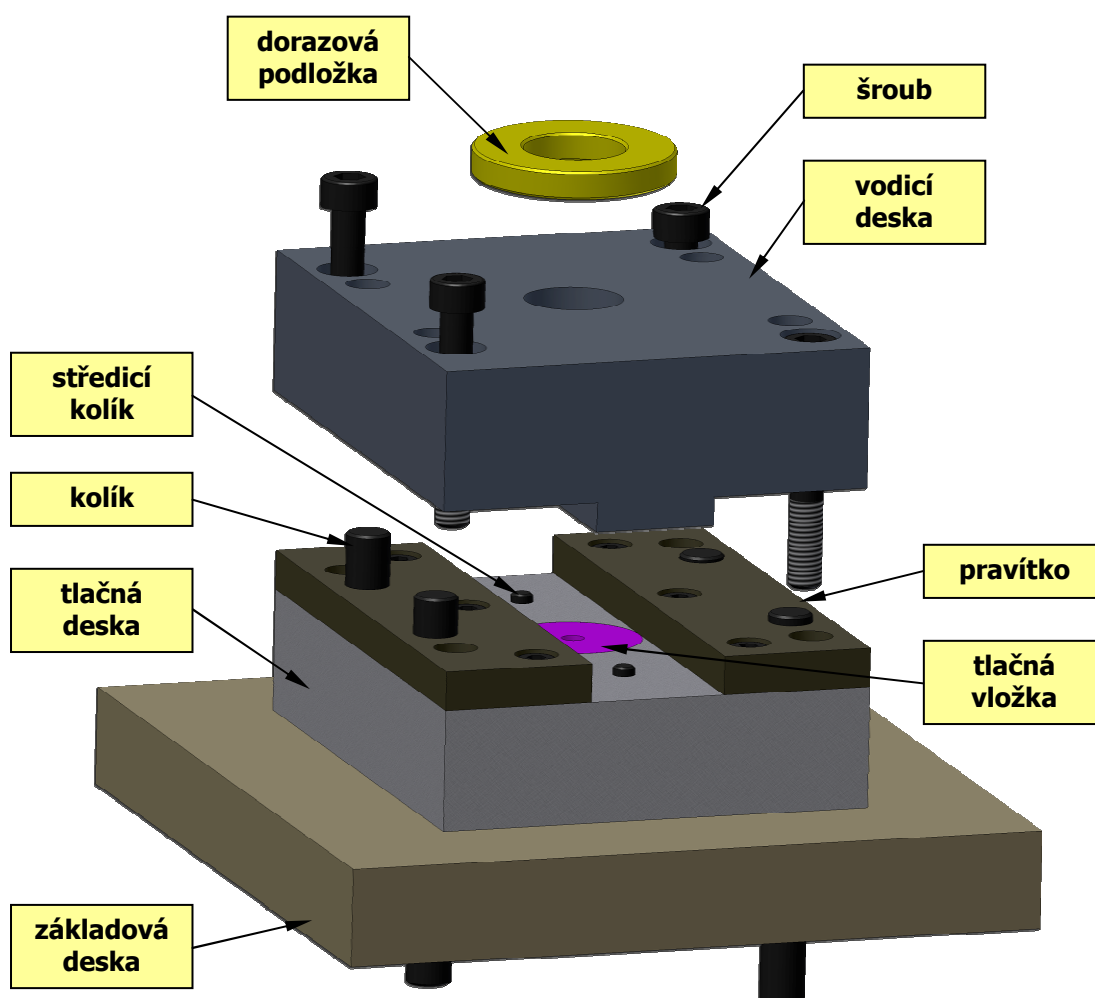
Hlavní částí tlačníku (*Obr. 30*) je pracovní část, jejíž tvar je shodný s tvarem kuželového zahloubení. Při určování rozměrů pracovní části tlačníku je nutné brát ohled na odpružení materiálu při tváření. Velikost odpružení je pro tento případ lisování obtížně stanovitelná, proto se určí experimentálně. Rozměr tvarové části tlačníku je navržen větší, než je přesný rozměr kuželového zahloubení. Rozměr této části se bude broušením upravovat tak, aby došlo k vylisování kuželového zahloubení o vyhovujících rozměrech a vyhovujícím tvaru. Funkční část tlačníku musí mít velmi malou drsnost povrchu, aby nedocházelo k zadírání při tváření a aby bylo dosaženo dobré jakosti povrchu vylisovaného kuželového tvaru. Z tohoto důvodu je nutné tvarové úseky po broušení leštit. Další částí tlačníku je válcová vodící část, která je vedena vodící deskou a slouží k přesnému vedení tlačníku vůči zkušebnímu vzorku. Hlava tlačníku slouží k přenosu lisovací síly z pístu mechanicko – hydraulického ručního lisu a zároveň slouží k dosažení jeho dolní polohy při lisování opřením spodní plochy hlavy o dorazovou podložku.



**Obr. 30. Model tlačníku**

Na *Obr. 31* je zobrazen model nepohyblivé (pevné) spodní části lisovacího nástroje v rozloženém stavu. Model naznačuje, jakým způsobem probíhá montáž (demontáž) lisovacího nástroje při vkládání (vyjímání) zkušebního vzorku, a zobrazuje jednotlivé díly spodní nepohyblivé části lisovacího nástroje.

Nepohyblivá část lisovacího zkušebního nástroje se skládá z pěti deskových částí, jejichž vzájemná poloha je zajištěna pomocí kolíků, a jednotlivé deskové části jsou k sobě připevněny pomocí šroubů. Takto smontovaný celek s dalšími funkčními prvky (středící kolíky, tlačná vložka, dorazová podložka) tvoří nepohyblivou část lisovacího nástroje. Jednotlivé desky jsou – základová deska, tlačná deska, dvě pravítka, vodící deska.



**Obr. 31.** Model nepohyblivé (pevné) části lisovacího nástroje



Základová deska slouží k ustavení zkušebního lisovacího nástroje na pracovní stůl lisu a pomocí šroubů je k ní přimontovaná tlačná deska. Vzájemnou polohu desek určují kolíky. Základová deska má také funkci dorazu pro nalisování tlačné vložky do tlačné desky. Uprostřed základové desky je otvor umožňující vylisování tlačné vložky z tlačné desky bez nutnosti demontáže obou desek od sebe.

Tlačná deska má průchozí otvor pro nalisování tlačné vložky a dva otvory pro nalisování středících kolíků pro zajištění přesné polohy zkušební vzorku v lisovacím nástroji. Na středící kolíky zalisované v tlačné desce se nasune zkušební vzorek. Středící kolíky lícují s dvěma předem vystřiženými dírami ve zkušebním vzorku o průměru 4 mm. Tak je dána přesná poloha zkušební vzorku v lisovacím nástroji a osa vystřižené díry o průměru 5,42 mm je v ose pohybu tlačníku i v ose zalisované tlačné vložky. Do díry v tlačné vložce zajíždí válcová část pracovní části tlačníku. K tlačné desce je přišroubovaná vodicí deska a dvě pravítka.

Vodicí deska vede tlačník vůči předstřižené díře ve zkušebním vzorku i tlačné vložce a zároveň přidržuje vzorek při lisování. Přidržení je nutné proto, aby nedocházelo k deformaci pásu plechu, jako tomu bylo při vstupním experimentu (*Obr. 20*). Mezeru mezi vodicí deskou a tlačnou deskou vymezují dvě pravítka, pro která jsou ve vodicí desce zhotovena vybrání. Výška pravítek musí být taková, aby došlo k přidržení plechu vodicí deskou. Při smontování nástroje nesmí vzniknout vůle mezi zkušebním vzorkem ležícím na tlačné desce a přidržovací částí vodicí desky. Na vodicí desku se umísťuje dorazová podložka sloužící jako doraz tlačníku. Tím je stanovena hloubka vniknutí pracovní části tlačníku do pásu plechu.

Materiály jednotlivých dílů lisovacího nástroje a jejich tepelné zpracování jsou uvedeny na výrobních skicách, které jsou součástí této práce. V popisu konstrukce lisovacího nástroje jsou obsaženy jen základní informace. Pro detailnější pochopení a porozumění konstrukci lisovacího nástroje je k dispozici kompletní soubor výrobních skic v *příloze 4*.



## 6.5. Postup při výrobě zkušebních nástrojů

Z důvodu nenarušení plynulosti chodu firmy a přesného stanovení průběhu operací při výrobě zkušebních nástrojů byl vypracován postup pro výrobu střížného zkušebního nástroje a pro výrobu lisovacího zkušebního nástroje. Tyto postupy jsou vytvořeny podle firemních zvyklostí tak, aby byly srozumitelné pro každého zaměstnance firmy. Po dohodě s technologickým úsekem bylo stanoveno, že výroba zkušebních nástrojů projde výrobou jako každá jiná zakázka. Bylo přiděleno číslo zakázky 3407/S-100 a 3407/S-101. Číslo 3407 určuje číslo zakázky. Číslo S-100 náleží střížnému zkušebnímu nástroji a číslo S-101 náleží lisovacímu zkušebnímu nástroji. Postupy jsou dále rozděleny na deskové části zkušebních nástrojů a rotační (kulaté) části zkušebních nástrojů. Vypracovány jsou tedy čtyři části postupů, které jsou součástí této diplomové práce a jsou v *příloze 5*. Jednotlivé části PV jsou:

3407/S – 100 – deskové díly; 3407/S – 100 – kulaté díly

3407/S – 101 – deskové díly; 3407/S – 101 – kulaté díly

Každá výrobní technologie – pracoviště (např. technologie vrtání – pracoviště vrtaček) má přidělené číslo. V částech postupů pro výrobu nástrojů jsou ve sloupci čísla výrobních technologií – pracovišť a k nim jsou přiřazeny jednotlivé díly zkušebních nástrojů, které se budou na těchto pracovištích obrábět. U dílů zkušebních nástrojů jsou vypsány operace, které se na nich mají zhotovit. Při výrobě deskových dílů zkušebních nástrojů i rotačních dílů zkušebních nástrojů musí být zajištěn správný sled operací tak, jak po sobě následují. Čísla výrobních technologií – pracovišť určených k výrobě jsou:

537 – technologie frézování, univerzální frézky

412 – technologie soustružení, univerzální soustruhy

561 – technologie broušení, rovinné brusky

471 – technologie vrtání, souřadnicové vrtačky

551 – technologie broušení, brusky na kulato

917 – technologie kalení, kalírna

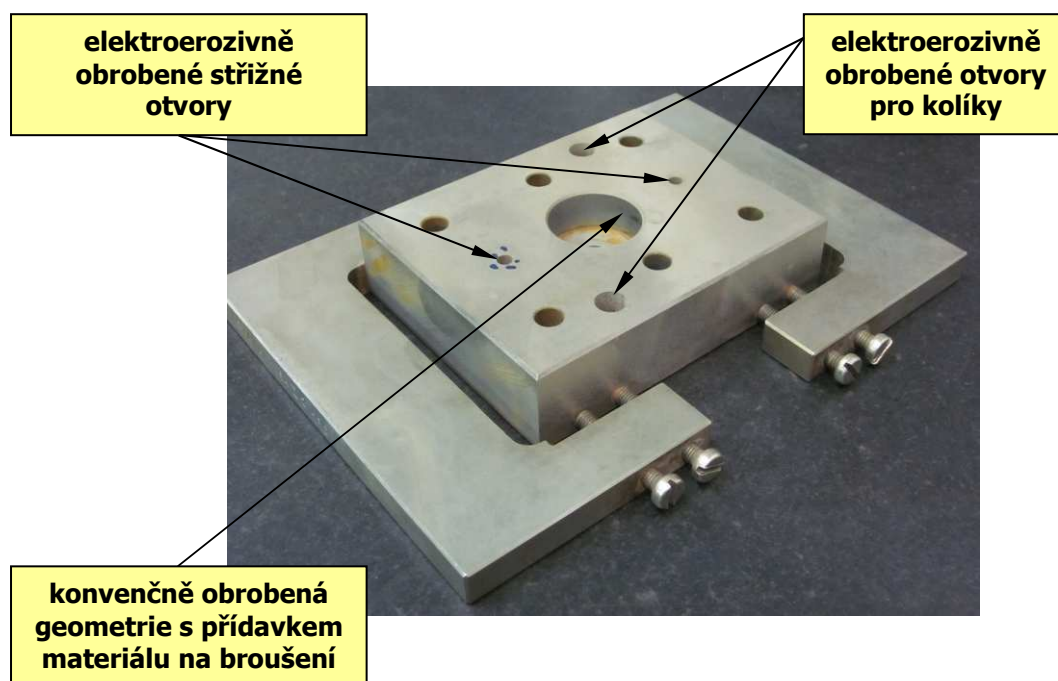
594 – technologie elektroerozivního obrábění, drátořezy

573 – technologie broušení, souřadnicová bruska na díry HAUSER



Při sestavování postupů pro výrobu nástrojů je nutné vystihnout sled obráběcích operací po sobě jdoucích od polotovaru vydaného ze skladu materiálu až k finálnímu výrobku součásti. Vždy se musí počítat s přídavkem na obrábění. U obvodových rozměrů polotovarů zkušebních nástrojů byly přídavky na obrábění voleny podle operací, které se musí na jednotlivých dílech provést.

- U deskových dílů, které se tepelně zpracovávají a obrábějí elektroerozivně na drátořezech, jsou přídavky materiálu u obvodových rozměrů polotovaru (obvodových rozměrů kvádru) voleny takto:
  - počáteční přídavek materiálu pro první broušení je 0,6 mm
  - přídavek pro druhé broušení je 0,4 mm
  - přídavek pro třetí broušení je 0,2 mm



**Obr. 32. Střížnice po elektroerozivním obrobení**

Přídavek materiálu na obrábění u obvodových rozměrů (ploch) polotovaru je 0,6 mm. Ten získáme po obrábění nahrubo. Následuje první broušení obvodových ploch polotovaru, kdy zůstává přídavek materiálu 0,4 mm (Obr. 33). Dalším krokem je vykonání potřebného obrobení polotovaru na konvenčních strojích podle výrobních skic. Při obrábění dílů podle výrobních skic je nutné myslet na ponechání přídaveků u geometrií, které se ještě budou obrábět viz Obr. 32. Ostatní geometrie se obrobí na konečný rozměr. Následuje tepelné

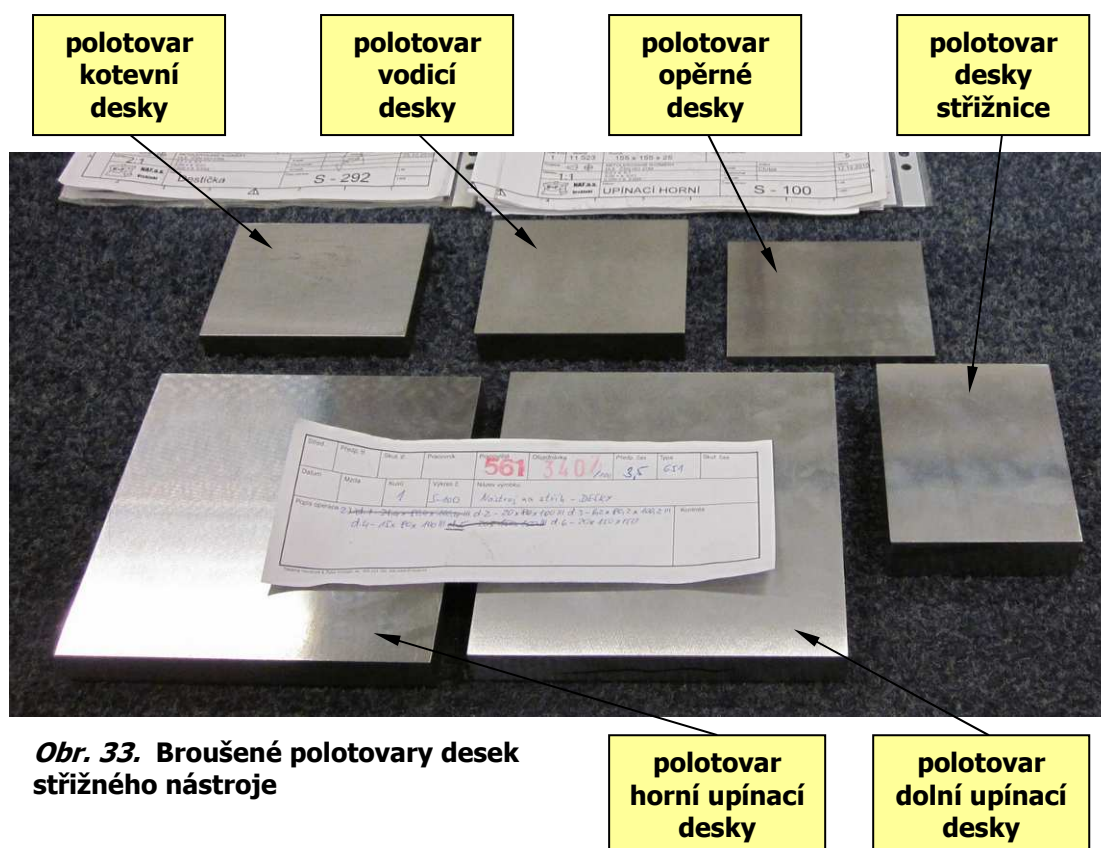


zpracování součásti a po tepelném zpracování, kdy dochází k deformacím součásti, se odvodové rozměry podruhé brousí. Druhé broušení součásti má za úkol úhlovat vnější plochy součásti vůči sobě pro přesné upnutí dílu na drátořez. Zůstává přídavek 0,2 mm. S přídavkem 0,2 mm probíhá obrábění na drátořezu. Nakonec se obvodové plochy součásti brousí na konečný rozměr. Dokončí se i rozměry obrobených geometrií, u kterých byl ponechán přídavek materiálu na broušení. Tento postup je např. v PV 3407/S-100 – deskové díly – d. 1 – střížnice (*Obr. 32*).

- U deskových dílů, které se obrábí na konvenčních strojích a následně se tepelně zpracovávají, jsou přídavky materiálu u obvodových rozměrů polotovaru voleny takto:

- počáteční přídavek materiálu pro první broušení je 0,4 mm
- přídavek pro druhé (konečné) broušení je 0,2 mm

Počáteční přídavek na obrábění u obvodových rozměrů polotovaru je 0,4 mm, který zůstává po hrubování. Následuje první broušení obvodových ploch (*Obr. 33*), kdy zůstává přídavek materiálu 0,2 mm.





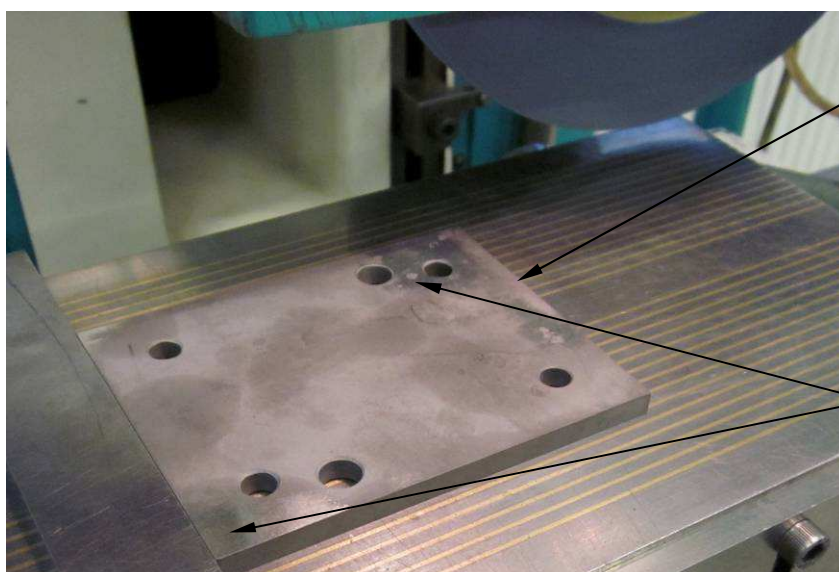
V dalším kroku dojde k obrobení polotovaru (*Obr. 34*) podle výrobních skic. Jsou-li na součásti geometrie, které se budou ještě následně obrábět, je u nich třeba ponechat přídavek na další obrábění.



**obráběná  
opěrná deska**

***Obr. 34.* Vrtání opěrné desky**

Následuje tepelné zpracování, po kterém se obvodové plochy brousí na konečné rozměry (*Obr. 35*). Jsou-li na součásti geometrie, u kterých byl ponechán přídavek na konečné broušení, dokončí se broušením i tyto geometrie. Postup je uveden např. v PV 3407/S-100 – deskové díly – d. 3 – opěrná deska.



**broušená  
opěrná deska**

**nerovnosti  
vzniklé pnutím  
materiálu po  
kalení: první  
přebroušení  
desky – první  
tříška**

***Obr. 35.* Broušení obvodových ploch opěrné desky po kalení**

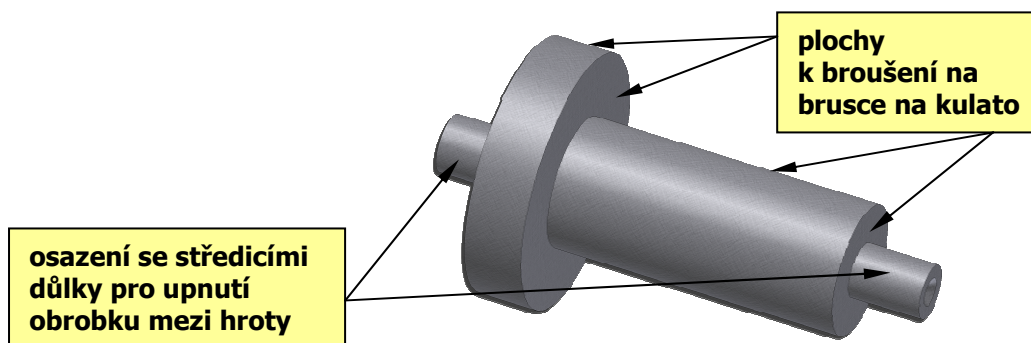
Podobný způsob určování přídatku materiálu na obrábění je i u rotačních dílů zkušebních nástrojů, které se tepelně zpracovávají. U rotačních dílů bývá počáteční přídavek polotovaru větší, pak nastává obrobení dílu, tepelné zpracování a broušení na konečný rozměr. Zde jsou voleny přídatky materiálu na obrábění individuálně vzhledem k vyráběnému dílu.

- U deskových dílů, které se obrobí a dále tepelně nezpracovávají, jsou přídatky materiálu u obvodových rozměrů voleny takto:

Počáteční přídavek na obrábění u obvodových rozměrů polotovaru je 0,2 mm. Ten zůstává po hrubování polotovaru. Následuje broušení obvodových ploch polotovaru na konečný rozměr a obrobení geometrií podle výrobních skic. Tento postup je např. v PV 3407/S-100 – deskové díly: d. 2 – vodící deska, d. 4 – kotevní deska, d. 5 – upínací horní deska, d. 6 – upínací dolní deska

U rotačních dílů, které se tepelně nezpracovávají, dochází k obrobení součásti na konečné rozměry hned z polotovaru. Polotovar má individuálně stanovenou velikost přídatku materiálu na obrábění podle parametrů součásti, která má být z polotovaru zhotovena. Jde o přídatky na průměru polotovaru i v délkách polotovaru. Délkové přídatky se ponechávají při dělení materiálu. Velikost přídatku na obrábění závisí v tomto případě na zásobách materiálu ve skladu, kde je snaha upotřebit zbytkové materiály, odřezky aj.

Dále nelze opomenout, že polotovar musí mít dostatečné přídatky materiálu i na technologické prvky (*Obr. 36*) potřebné při dalším zpracování (jedná se například o osazení pro upnutí obrobku mezi hroty brusky na kulato a pro možné připevnění unášedce atd.).



**Obr. 36. Polotovar tlačníku s osazeními pro upnutí mezi hroty**



## 6.6. Výroba a montáž zkušebních nástrojů

Kompletní výroba zkušebních nástrojů probíhala ve firmě NAF, a. s. Pro zvýšení efektivnosti diplomové práce jsme se dohodli s vedením firmy, že spojíme teoretickou část s praktickou částí a většinu dílů zkušebních nástrojů si budu vyrábět osobně pod dohledem pracovníků firmy. Některé díly potřebují pro výrobu speciální technologie, např. elektroerozivní obrábění na elektrojiskrových drátových řezačkách (drátořez). K obsluze takového zařízení je potřeba delší zaškolení, proto obrábění touto technologií prováděli zaměstnanci firmy. Stejně tak i některé složitější operace, kde je zapotřebí více zkušeností a dokonalá schopnost ovládání stroje, prováděli zaměstnanci firmy. Jedná se např. o tvarové broušení a broušení na kulato, tepelné zpracování dílů aj. U takových operací, u kterých jsem nemohl výrobu provádět sám z důvodů nedostačujících zkušeností, mi bylo podáno seznámení s obsluhou stroje spolu s praktickou ukázkou.

Strojní vybavení nástrojařské firmy, zabývající se výrobou nástrojů na špičkové úrovni, je rozmanité a plně dostačující pro výrobu zkušebních nástrojů.

Mezi nejčastěji používané stroje určené k výrobě jednotlivých dílů nástrojů patří:

hrotové univerzální soustruhy: TOS SV18 RA

nástrojařské univerzální frézky: TOS FNGJ 32, TOS FN 32, TOS FAV3

rovinné brusky: BRH 40, BPH 20NA, JUNG 525

bruska na díry: HAUSER 40

bruska na kulato: TOS BU16

elektroerozivní drátové řezačky: AGIE EXCELLENCE, AGIE 15

pásová pila: PEGAS BS 280 ESH

kalicí pec: LAC PK17

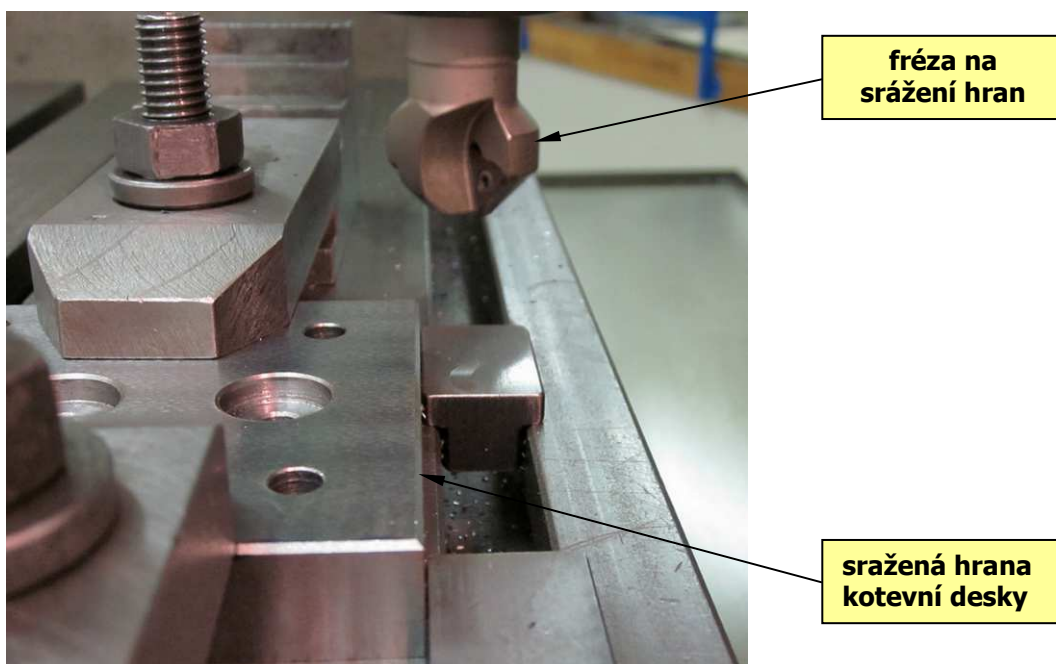
souřadnicové vrtačky: HECKERT BL 315/450, HECKERT BKOE 450/800,  
HECKERT BKOE 400/630 2PA2

Další stroje a zařízení použité při výrobě dílů zkušebních nástrojů jsou: kotoučová dělička materiálu, pískovací zařízení, měřicí zařízení (digitální posuvky a mikrometry, měřicí projektor, digitální výškoměr, válečkové kalibry,

Johansonovy měrky, úchylkoměry), odmagnetovací zařízení, tvrdoměr Rockwell, montážní zařízení a ruční nářadí, gravírovací ruční bruska, aj.

Podle postupů pro výrobu a výrobních skic se na určených pracovištích vyrábí jednotlivé díly zkušebních nástrojů. Výroba začíná dělením materiálu ve skladu firmy. Rozměry polotovarů a jejich materiál musí souhlasit s údaji na výrobních skicách a na výdejce pro sklad. Materiál byl dělen na pásové pile ze zbytků ocelových desek nebo z ocelových tyčí.

Na frézkách se provádělo hrubé opracování deskových částí nástrojů, frézování drážek, frézování vybrání a srážení hran. Při frézování je nutné brát ohledy na přídavky materiálu na obrábění. Pro dobrou jakost obrobených dílů bylo nutné správně nastavovat řezné podmínky a také dodržovat zásady správného upínání obrobku do svěráku.



**Obr. 37. Srážení obvodových hran kotevní desky**

Na vrtačkách se provádělo vrtání, vyvrtávání, vyhrubování, vystružování, zahlubování, řezání závitů a srážení hran u otvorů. U vrtání je stejně jako u frézování nutné brát ohledy na přídavky materiálu na obrábění. Deskové díly mají před vrtáním broušené a úhlované obvodové plochy. Pro přesné stanovení polotovaru vůči ose vřetena vrtačky se používá optického zařízení s osovým křížem. Optické zařízení se upne do vřetena vrtačky. Stolem vrtačky se najede



tak, aby byl střed osového kříže přesně v rohu polotovaru upnutého ve svěráku nebo pomocí upínek přímo k pracovnímu stolu vrtačky. Tím je dán nulový souřadnicový bod. U vrtání rotačních dílů je možné použít pro upínání polotovaru prizma připevněné ke stolu vrtačky. K zhotovení přesných rozměrů je nutné správně nastavovat řezné podmínky, mít kvalitní a dobře nabroušené nástroje a správně najíždět na souřadnice vrtání s ohledem na vůle stroje.



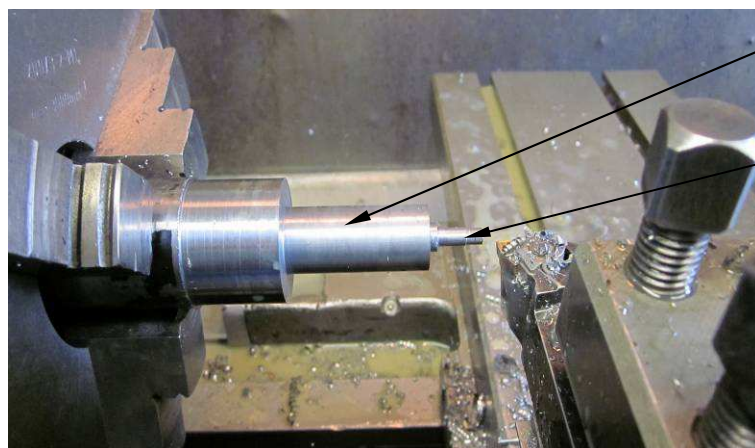
**upínací  
hlava**

**výstružník**

**díra pro kolík  
ve vodící desce**

**Obr. 38. Vystružování díry pro kolík u vodící desky**

Na soustruzích se provádělo soustružení tvarových částí jednotlivých dílů, vrtání, vyhrubování děr, vystružování děr, řezání závitů, upichování, srážení hran. Pro dosažení dobré jakosti povrchu součásti je nutné správně nastavovat řezné podmínky obrábění. Snaha je obrobit součást na co nejmenší počet upnutí.

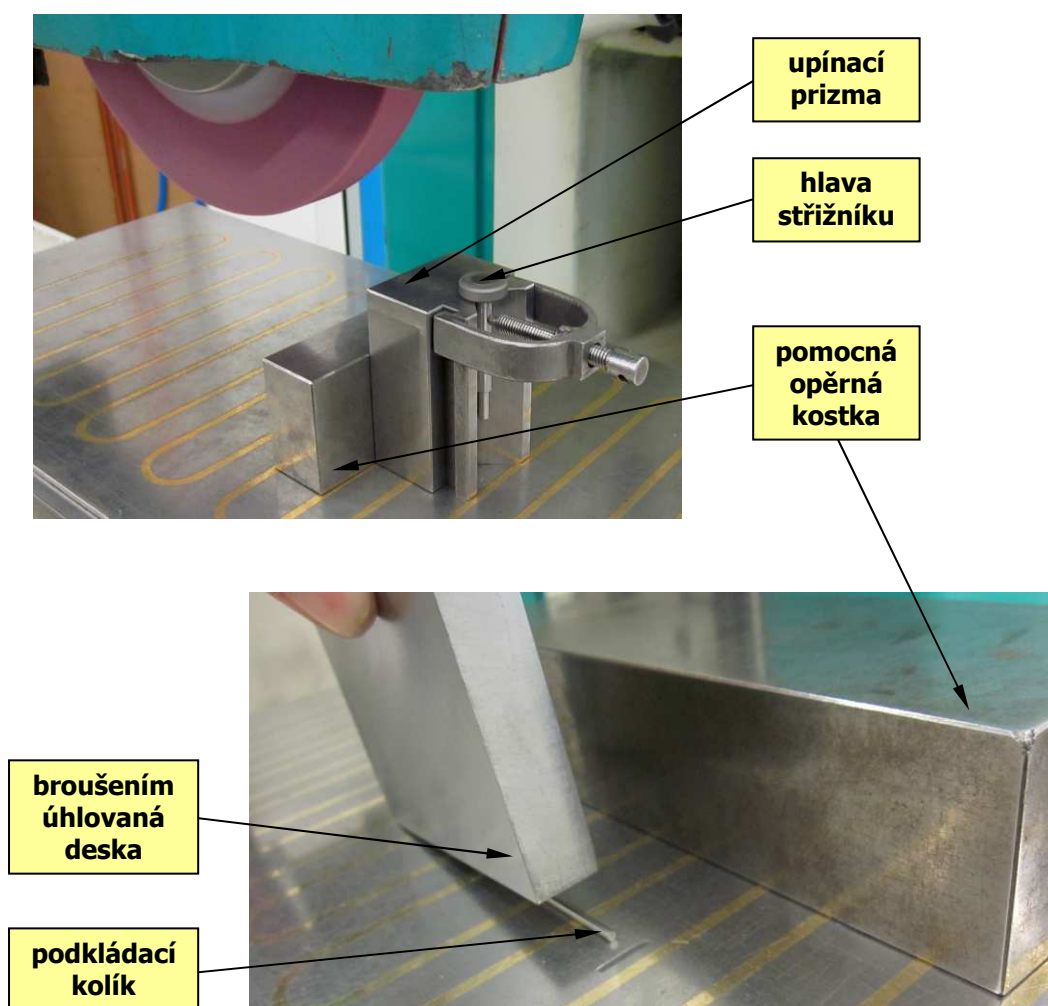


**obráběný tlačník**

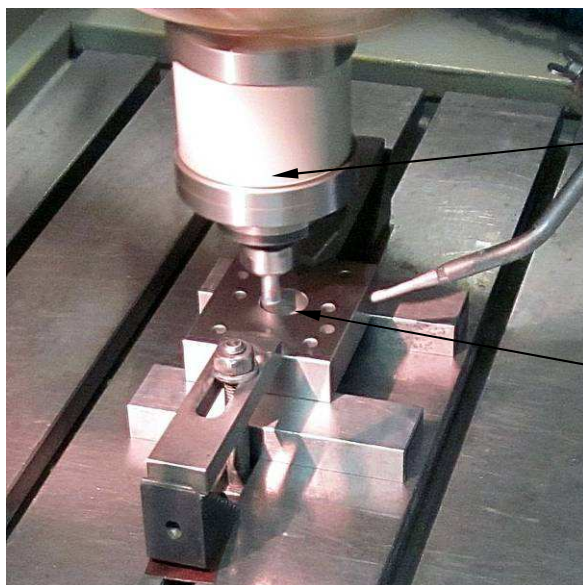
**osazení se středícím  
důlkem pro upnutí  
dílu mezi hroty  
brusky na kulato**

**Obr. 39. Soustružení tlačníku**

Na bruskách se provádělo broušení rovinných ploch (*Obr. 35*), broušení tvarových ploch, úhlování stran desek vůči sobě (*Obr. 40*), vnitřní broušení děr (*Obr. 41*), broušení válcových vnějších ploch. Broušením se dosahuje velké přesnosti rozměrů. Pro dosažení dobré rozměrové přesnosti je nutné dodržovat čistotu upínacích částí stroje pro upínání obrobku i čistotu samotného obrobku. Nerovnosti broušícího kotouče se rovnají diamantovým orovnávačem. Tím se docílí jeho geometrické přesnosti a odstraní se tupá zrna brusiva. Na bruskách se docílí přesné kolmosti stran obrobku vůči sobě. Součást se pokládá na kuličku nebo tyčku (podkládací kolík) a ze stran se opírá již obroušenou plochou o pomocné opěrné kostky. Tím se docílí, že další broušená plocha bude kolmá k již obroušené opěrné ploše. Rotační díly se upínají pomocí upínacího prizmatu (*Obr. 40*).



**Obr. 40. Princip upínání při úhlování stranových ploch desek vůči sobě a broušení hlavy střížníku**

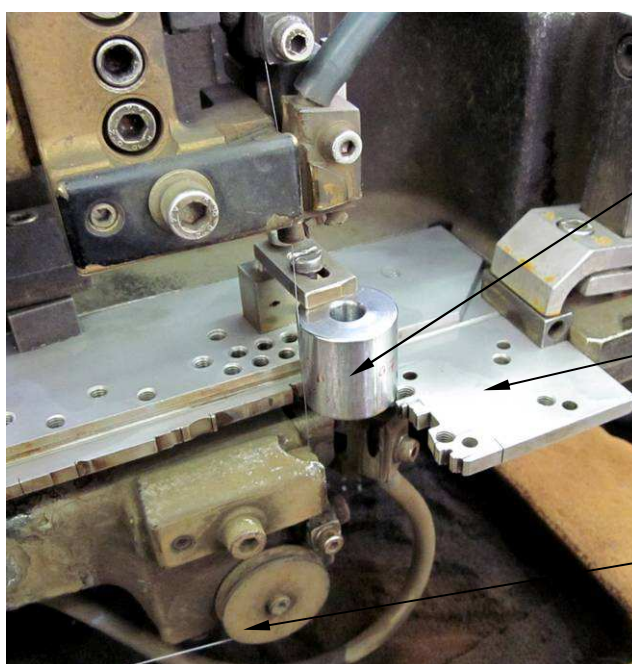


**vřeteno brusky  
pro broušení  
vnitřních  
geometrií**

**broušený otvor  
v desce střížnice**

**Obr. 41** Broušení vnitřní válcové plochy díry  
a dna díry

Na drátořezech se provádělo obrábění přesných děr do tepelně zpracovaného materiálu. Na jiných konvenčních obráběcích strojích se nedají obrábět tepelně zpracované díly. U elektrojiskrového obrábění na drátových řezačkách se docílí vysoké přesnosti obrobených geometrií a velmi dobré jakosti povrchu.



**upnutá tlačná  
vložka**

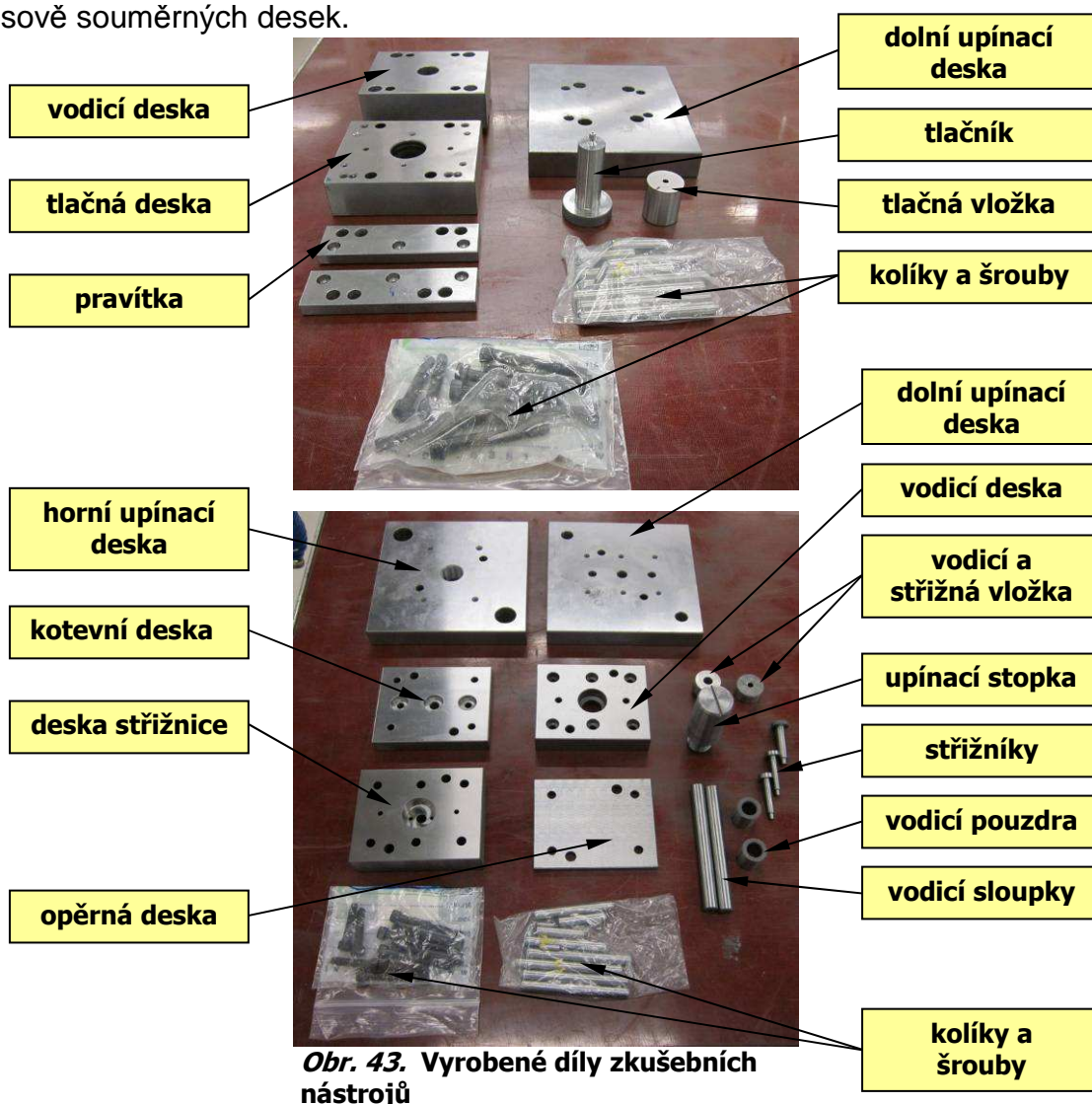
**upínací deska  
drátové řezačky**

**dolní kladka pro  
vedení řezacího  
drátu**

**Obr. 42.** Upínání tlačné vložky na drátovou  
elektroerozivní řezačku

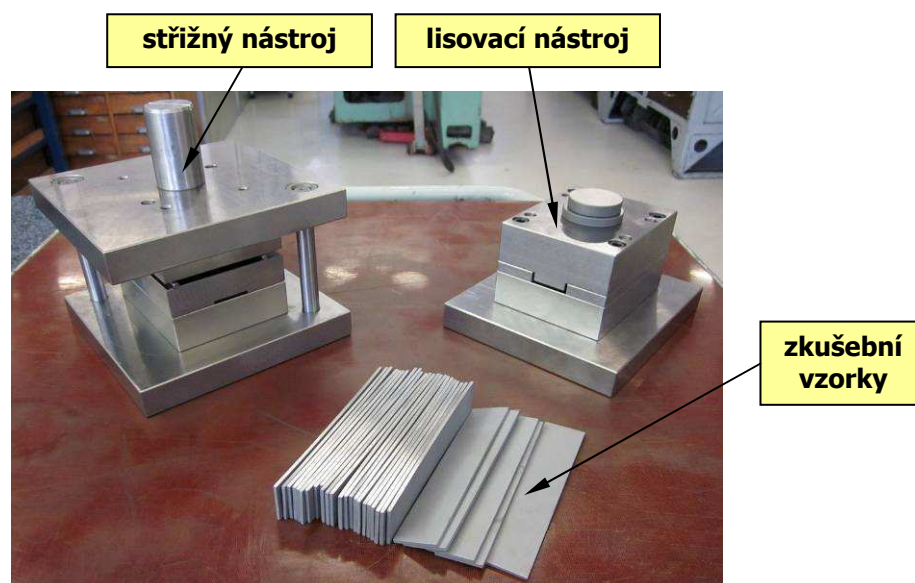


Po výrobě všech dílů zkušebních nástrojů a po dodání normalizovaných dílů (*Obr. 43*) následovala montáž nástrojů. Při montáži se v případě potřeby některé části nástrojů dobrušují a dolešťují. Jde např. o kolíky, díry pro kolíky, vodící pouzdra, vložky atd. Po zalisování vložek do desek se vložky dobrušují zároveň s povrchem desek. Při sestavování nástrojů je kladen důraz na čistotu. Na dílech nástrojů nesmějí být žádné nečistoty (zbytky brusiva po broušení, prach po broušení ani jiné nečistoty). Díly, které byly upnuty na magnetickém upínacím stole, je důležité odmagnetovat. Montáž zkušebních nástrojů není nikterak složitá. Sestavení probíhá podle skic sestav. Po sestavení zkušebních nástrojů je třeba jednotlivé desky označit tak, aby bylo zřejmé, jak na sebe pasují. Na desky se vybrousí čísla. V případě demontáže a následné montáže se desky skládají podle číselného označení. Tím se zamezí možnému pootočení u osově souměrných desek.



**Obr. 43.** Vyrobené díly zkušebních nástrojů





**Obr. 44. Smontované zkušební nástroje**

Zkušební vzorky v podobě ocelových pásů (Obr. 44) byly nastříhány na tabulových nůžkách. Jakost střížné plochy po ustřížení plechu není vyhovující pro přesné měření změny rozměru šířky před a po vylisování kuželového zahloubení ve zkušební vzorku. Proto byla šířka pásu broušena na rovinné brusce tak, aby se dosáhlo konstantní šířky v celé délce pásu a dobré jakosti povrchu.

## **7. Experimentální zkoušky lisování kuželového zahloubení pro šrouby se zápusťnou hlavou**

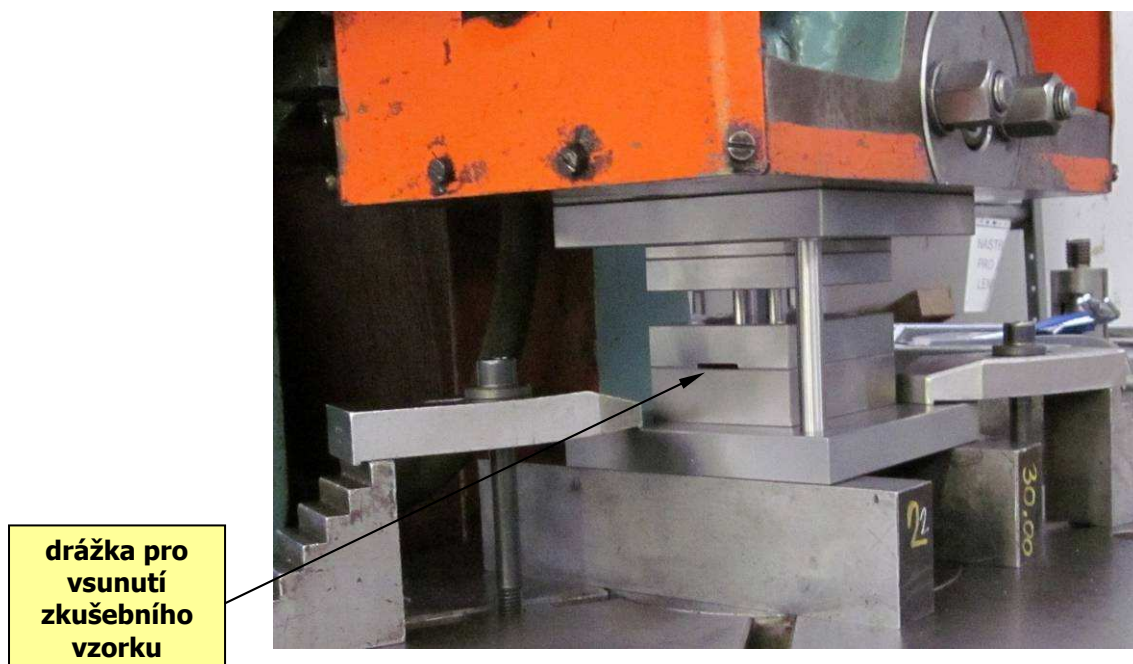
Jednotlivé kroky experimentálních zkoušek lisování kuželového zahloubení budou vysvětlovány v časovém sledu přesně tak, jak po sobě následovaly. Studie probíhala od prvního návrhu lisování zahloubení. Dále se rozvíjela a doplňovala na základě dosažených výsledků experimentálních zkoušek.

Experimentální zkoušky probíhaly na vyrobených zkušebních nástrojích. Střížným nástrojem upnutým na výstředníkovém lisu LEN 25 C (Obr. 45) se vystříhnou tři díry. Lis musí být nastaven na pracovní zdvih 5 – 10 mm. Při upínání střížného nástroje na pracovní stůl lisu je horní (pohyblivá) část nástroje vůči dolní (pevné) části nástroje v dolní úvratí. Tato poloha je určena dorazovými kolíky vloženými mezi vodící a kotevní desku. Zkušební vzorek má tloušťku

2 mm. Při pohybu horní části střížného nástroje z dolní úvrati směrem nahoru musí zajet břity střížníků do vodící desky, maximálně však 7 mm. Tato poloha odpovídá horní úvrati nástroje (horní úvrati beranu lisu). V této poloze dochází ke vsunutí zkušební vzorku do střížného nástroje.

V případě, kdy střížníky zajíždějí 1 mm do střížnice při pohybu dolů a 2 mm do vodící desky při pohybu nahoru, pracovní zdvih lisu musí být nastaven na 5 mm. Pokud střížníky zajíždějí 1 mm do střížnice při pohybu dolů a 7 mm do vodící desky při pohybu nahoru, pracovní zdvih lisu musí být nastaven na 10 mm.

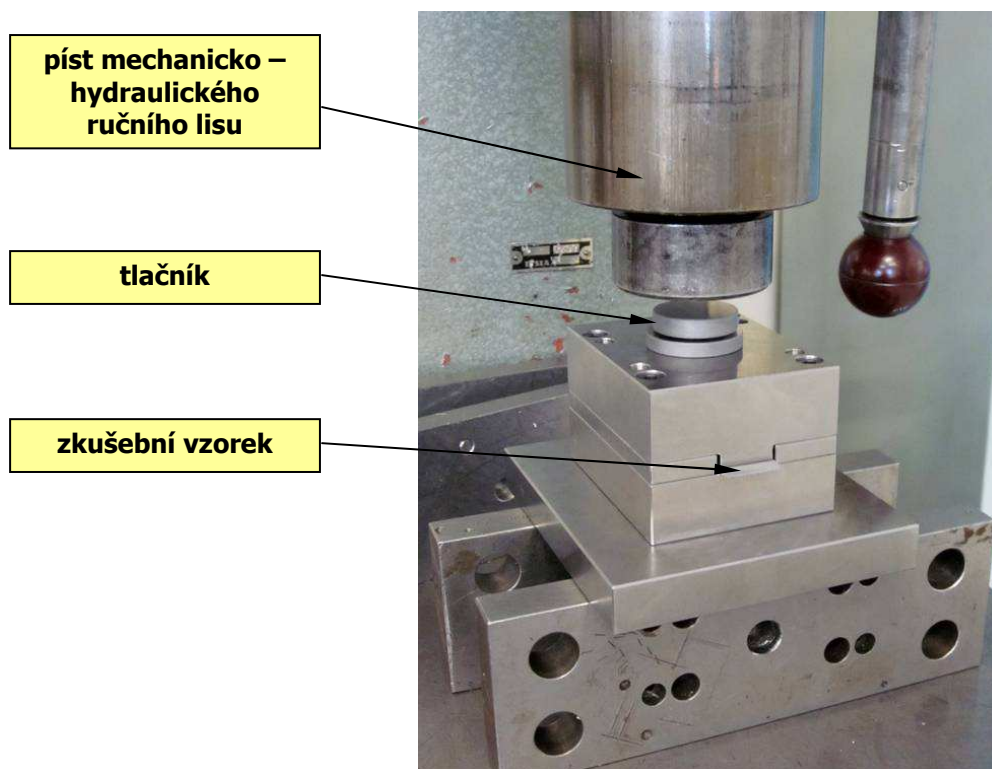
Při pohybu pohyblivé části střížného nástroje směrem dolů zajíždějí střížníky 1 mm do střížnice. Tato poloha odpovídá dolní úvrati nástroje (dolní úvrati beranu lisu). Zkušební vzorek je prostřížen a nástroj koná zpětný pohyb do horní úvratě. V poloze horní úvratě nástroje dochází k vysunutí prostříženého a k vložení nového zkušební vzorku.



**Obr. 45. Střížný nástroj upnutý na výstředníkovém lisu – poloha v horní úvrati**

Vystřížený zkušební vzorek se založí na středící kolíky do lisovacího zkušební nástroje, který má z tohoto důvodu rozebíratelnou vodící desku. Po smontování nástroje se zkušební vzorek lisuje přímým působením pístu mechanicko – hydraulického ručního lisu na tlačník (Obr. 46), který vytvaruje

zhloubení. Po vylisování je opět vodící deska lisovacího nástroje rozmontována a zkušební vzorek je vyjmut.



**Obr. 46. Lisovací nástroj na mechanicko – hydraulickém ručním lisu**

- **Varianty experimentálních zkoušek**

Experimentální zkoušky lisování zhloubení proběhly v několika variantách. V jednotlivých variantách byla snaha upravovat podmínky lisování zhloubení takovým způsobem, aby bylo dosaženo co nejpríznivějších výsledků. Varianty experimentálních zkoušek lisování zhloubení tak, jak po sobě následovaly, jsou:

### **7.1. Varianta A**

Vystřižení díry o výpočtem stanoveném průměru 5,42 mm ve střižném zkušebním nástroji a následné lisování kuželového zhloubení v lisovacím nástroji:

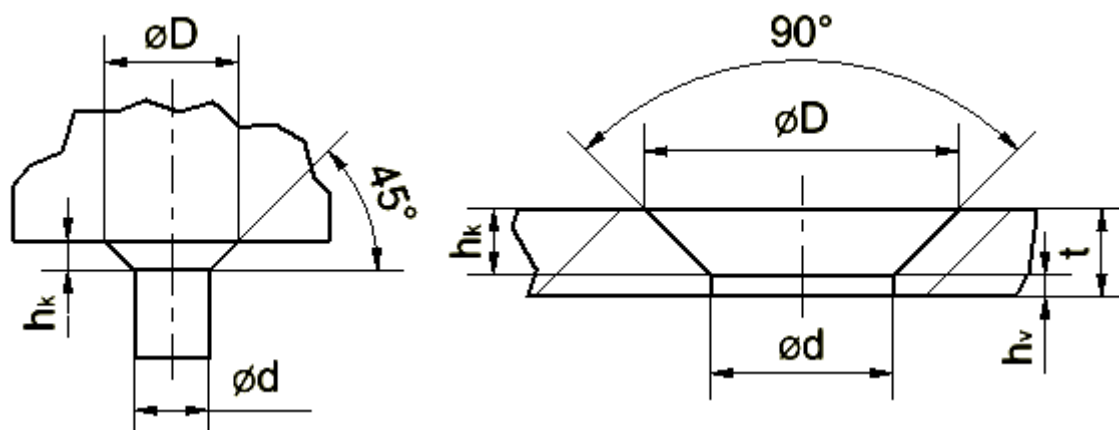
Vystřižení díry o stanoveném průměru 5,42 mm vychází z teoretické myšlenky popsané v *kap.5*. V teoretické myšlence je předpoklad, že se částice materiálu budou přesouvat pouze směrem k ose spodní oblasti předstřižené díry.

Do zkušební vzorku bude vtlačována pracovní část tlačníku kuželového tvaru. Při těchto podmínkách je zřejmé, že kuželová část tlačníku bude mít snahu vytlačit materiál směrem od osy předstřížené díry.

V první variantě se nejprve musí experimentálně zjistit přesné rozměry pracovní části tlačníku. Ty jsou větší než rozměry zahloubení z důvodu odpružení materiálu při tváření. Vtlačováním tlačníku o zvětšených rozměrech, než je požadovaný rozměr vylisovaného zahloubení, se odpružení eliminuje. Z hlediska způsobu a teorie použité metody lisování je možné zvětšit pouze rozměr  $\phi D$  viz *Obr. 47*. Zvětšením  $\phi D$  při zachování úhlu kužele  $90^\circ$  se změní výška kuželové pracovní části tlačníku. Požadované rozměry vylisovaného zahloubení jsou v *Tab. 8*. Zvětšené rozměry pracovní části tlačníku pro eliminaci vlivu odpružení materiálu byly zjištěny experimentální metodou. Tato metoda spočívá v postupném odbrušování pracovní části tlačníku. Po každém broušení následovala zkouška lisování a změření rozměrů vylisovaného zahloubení. Výsledkem experimentální metody jsou rozměry tlačníku viz *Tab. 8*. Při těchto rozměrech pracovní části tlačníku dojde za určitých podmínek k vylisování kuželového zahloubení požadovaného tvaru a rozměrů.

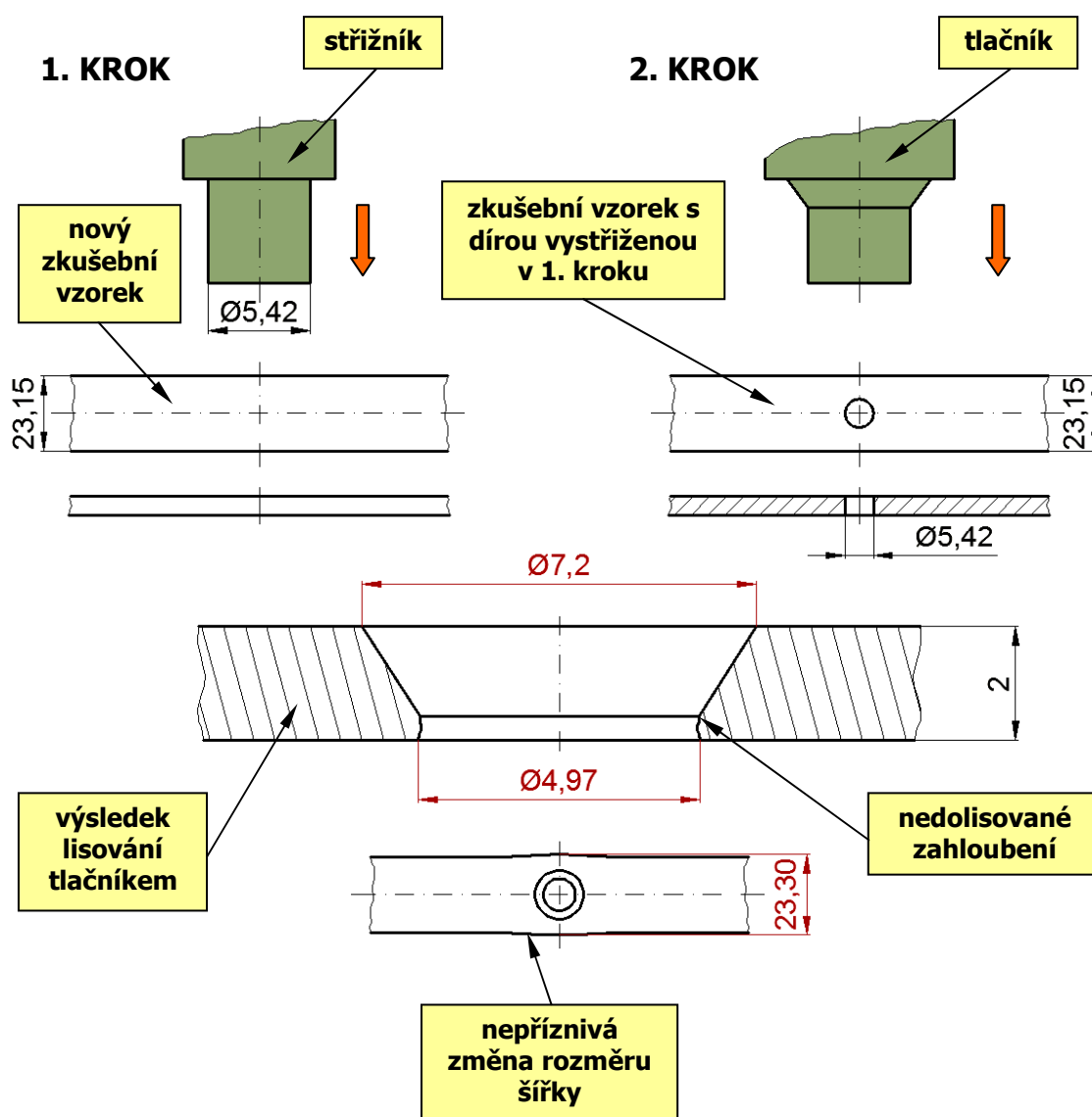
**Tab. 8. Rozměry kuželového zahloubení a pracovní části tlačníku**

Součást	Rozměry			
	$\phi D$ [mm]	$\phi d$ [mm]	$h_k$ [mm]	$h_v$ [mm]
<b>zahloubení</b>	7,2	4,2	1,5	0,5
<b>pracovní část tlačníku</b>	7,6	4,2	1,7	-



**Obr. 47. Okótované rozměry tlačníku a kuželového zahloubení**

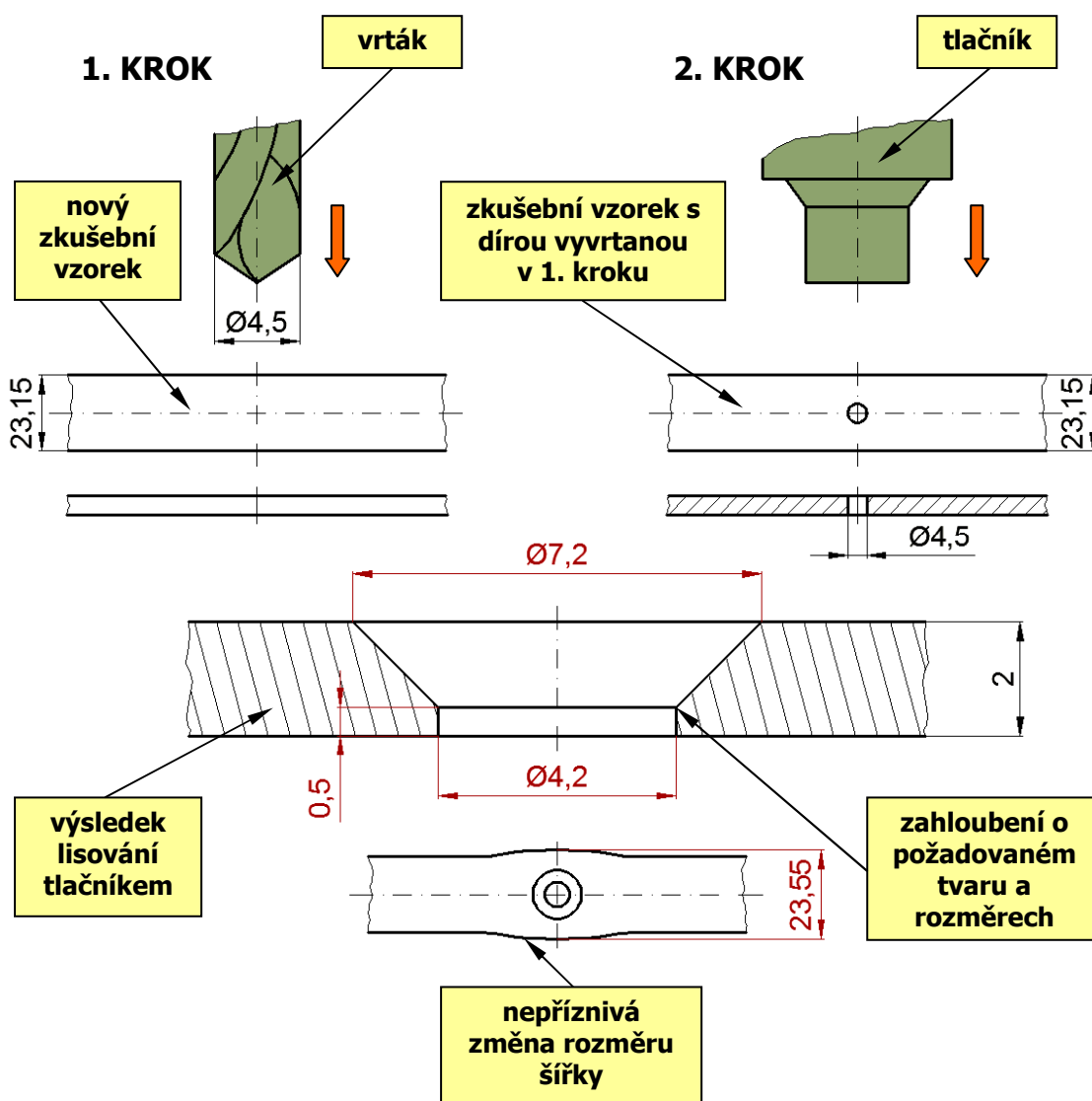
V první části *varianty A* (Obr. 48) byl proveden experiment na zkušební vzorku o šířce  $b_0 = 23,15 \text{ mm}$  s předstříženou dírou o průměru 5,42 mm. Vtlačení pracovní části tlačníku do zkušební vzorku došlo k neúplnému vylisování tvaru zahloubení. Materiál se částečně přemístil směrem k ose předstřížené díry, ale i směrem od osy předstřížené díry. Průměr válcové části zahloubení  $\phi d$  je po vylisování 4,97 mm čili o 0,45 mm menší než průměr předstřížené díry. Šířka vzorku v oblasti zahloubení je po vylisování 23,30 mm čili o 0,15 mm větší než původní šířka zkušební vzorku. Těchto výsledků bylo dosaženo při použití dorazové podložky lisovacího nástroje o tloušťce 6,01 mm.



**Obr. 48.** Schéma znázorňující princip a postup při lisování – první část *varianty A*

Dále byla použita dorazová podložka o tloušťce 5,88 mm, aby bylo možné posoudit vliv dotlačení válcového osazení tlačníku na zkušební vzorek. Při tloušťce podložky 6,01 mm dosedne válcové osazení tlačníku přesně na zkušební vzorek a při tloušťce 5,88 mm má možnost válcové osazení tlačníku zajet až do materiálu a projeví se otiskem ve zkušebním vzorku. Zmenšení tloušťky dorazové podložky lisovacího nástroje nemá výrazný vliv na tvar a rozměry vylisovaného zahloubení. Použitím dorazové podložky o tloušťce 6,01 mm a 5,88 mm bylo dosaženo téměř stejných výsledků.

Výsledky experimentů nevyhovují z důvodů nedosažení potřebného tvaru a rozměrů zahloubení. Změna rozměru šířky zkušebního vzorku je v dovolené toleranci.



**Obr. 49. Schéma znázorňující princip a postup při lisování – druhá část varianty A**





Následující experiment druhé části *varianty A (Obr. 49)* má za úkol zjistit, jak velký průměr díry ve zkušebním vzorku je potřeba vystříhnout, aby bylo následným lisováním dosaženo požadovaného tvaru a rozměru kuželového zahloubení. Při tomto pokusu dojde ke zhotovení díry ve zkušebním vzorku vrtáním, aby odpadla nutnost výroby velkého počtu střížníků a střížnic zkušebního střížného nástroje. Střížník a střížnice se vyrobí až podle průměru předvrtané díry, při kterém dojde k vylisování kuželového zahloubení požadovaného tvaru a rozměrů.

Do zkušebního vzorku o šířce 23,15 mm byly předvrtány díry o průměru 5,10 mm; 4,90 mm; 4,80 mm; 4,70 mm a 4,50 mm. Lisování probíhalo stejně jako u předchozích pokusů za použití dorazové podložky o tloušťce 6,01 mm a 5,88 mm. U předvrtaných děr 5,10 mm; 4,90 mm; 4,80 mm a 4,70 mm nedošlo k vylisování zahloubení o požadovaném rozměru (nedocházelo k dolisování válcové části kuželového zahloubení na požadovaný průměr). Se zmenšujícím se předvrtaným průměrem díry se vylisovaný průměr válcové části zahloubení přibližoval k požadované hodnotě a zároveň se zvětšoval rozměr šířky zkušebního vzorku v oblasti zahloubení.

Při předvrtané díře o průměru 4,50 mm došlo k vylisování kuželového zahloubení požadovaného tvaru i požadovaných rozměrů. Materiál se přemístil směrem k ose předvrtané díry a opřel se o válcovou plochu tvarové části tlačníku o průměru 4,20 mm. Průměr válcové části zahloubení  $\phi d$  je po vylisování 4,20 mm čili přibližně o 0,30 mm menší než průměr předvrtané díry. Došlo také k přemístění částic materiálu směrem od osy předstřížené díry. To se projevilo nežádoucím rozšířením zkušebního vzorku v oblasti zahloubení o 0,40 mm. Šířka pásu po lisování je v oblasti zahloubení 23,55 mm. Použitím dorazové podložky o tloušťce 5,88 mm a 6,01 mm bylo dosaženo opět téměř stejných výsledků. Pro další zkoušky bude používána pouze jedna podložka o tloušťce 6,01 mm.

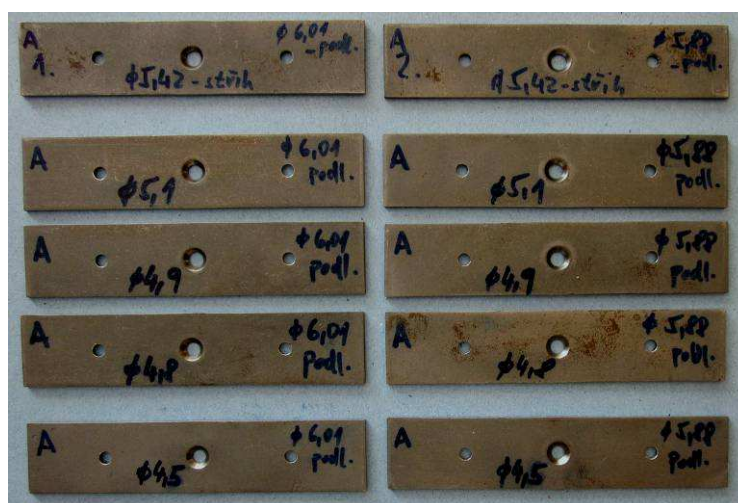
Z provedeného experimentu je zřejmé, že čím je průměr předvrtané díry ve zkušebním vzorku menší (v intervalu od 5,42 mm do 4,50 mm), tím je lisováním dosažen menší průměr válcové části kuželového zahloubení. Zároveň také platí, že čím menší je průměr předvrtané díry ve zkušebním vzorku, tím

větší část materiálu je vytlačena směrem ven od osy předvrtané díry. To se projevuje zvětšením šířky zkušební vzorku v okolí zahloubení.

**Tab. 9. Hodnoty dosažených rozměrů zkušební vzorku při lisování zahloubení podle varianty A**

průměr vyvrtané (vystřižené) díry ve zkušebním vzorku $\phi D_x [mm]$	5,42	5,10	4,90	4,80	4,70	4,50
průměr válcové části kuželového zahloubení $\phi d [mm]$	4,97	4,72	4,63	4,43	4,31	4,20
rozdíl průměrů $\Delta \phi D_z = \phi D_x - \phi d [mm]$	0,45	0,38	0,27	0,37	0,39	0,30
šířka zkušební vzorku v oblasti zahloubení – po vylisování $b_1 [mm]$	23,30	23,35	23,40	23,45	23,50	23,55
rozdíl šířek $\Delta b = b_1 - b_0 [mm]$	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40

V žádném experimentu *varianty A* nebylo dosaženo akceptovatelných výsledků. V případě vylisování zahloubení o vyhovujícím tvaru a vyhovujících rozměrech dochází k příliš velké deformaci šířky zkušební vzorku a svým rozměrem se nevejde do přípustné předepsané rozměrové tolerance, viz skica (*příloha 1*). V případě, kdy se deformace šířky zkušební vzorku v oblasti tváření pohybuje v přípustné rozměrové toleranci, není dosaženo požadovaného rozměru kuželového zahloubení. Nejlepší výsledek v této variantě přinesl zkušební vzorek s předvrtanou dírou 4,50 mm.



**Obr. 50. Vylisované zkušební vzorky – varianta A**

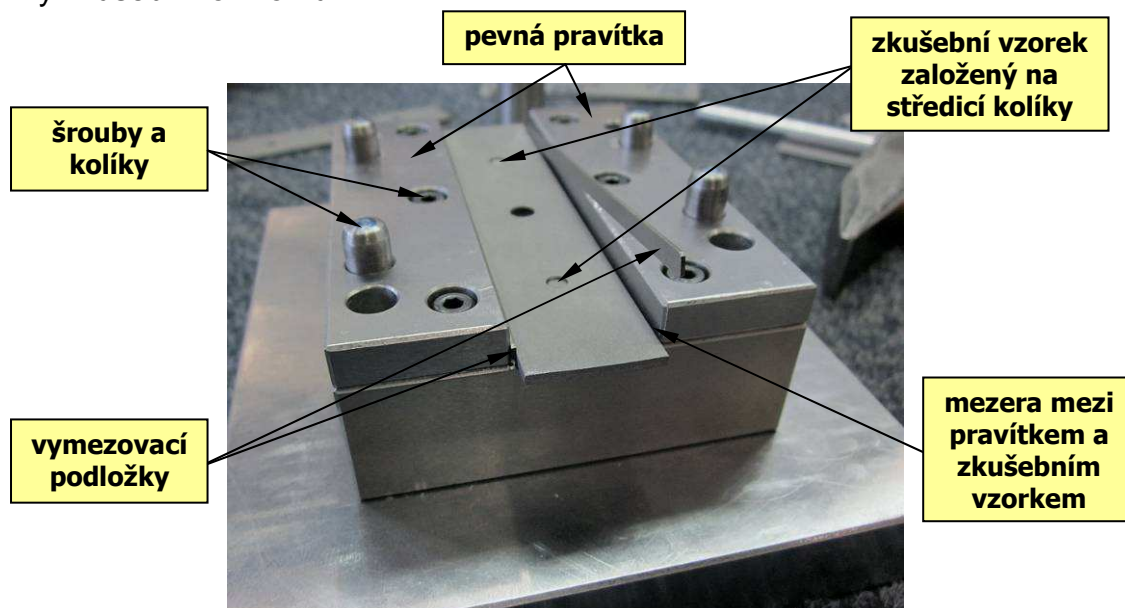


## 7.2. Varianta B

Vystřižení (vyvrtání) díry o průměru 4,5 mm do zkušební vzorku ve střížném zkušebním nástroji a následné lisování kuželového zahloubení v lisovacím zkušebním nástroji se snahou o fixaci šířky zkušební vzorku proti deformaci:

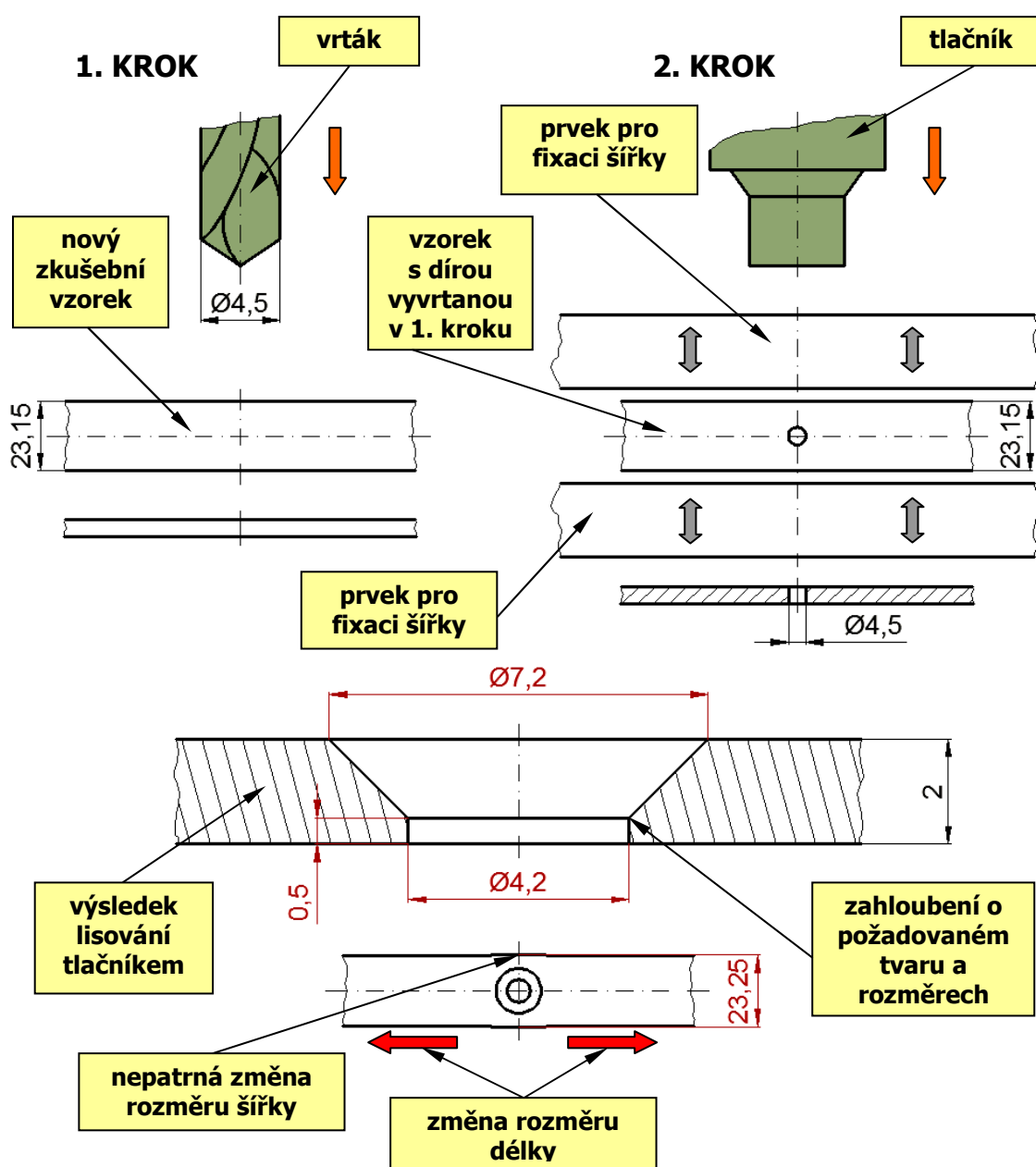
*Varianta B* navazuje na výsledky předchozí varianty. Ve *variantě A*, je za nejlepší výsledek považován zkušební vzorek s předvrtanou dírou o průměru 4,50 mm s následně vylisovaným kuželovým zahloubením, které svými rozměry a tvarem odpovídá zadaným parametrům. Zkušební vzorek má nevyhovující rozměr šířky v oblasti tváření. Vlivem vtlačování pracovní části tlačníku došlo v oblasti tváření k deformaci (zvětšení šířky zkušební vzorku o 0,40 mm). Ve *variantě B* je snahou tuto nevyhovující deformaci eliminovat.

Eliminace nepříznivé deformace v šířce zkušební vzorku spočívá ve fixaci šířky pásu plechu. Zkušební vzorek se vkládá do lisovacího zkušebního nástroje mezi dvě pevná pravítka. Mezi pravítky a zkušebním vzorkem je mezera přibližně 1 mm. Při vtlačování pracovní části tlačníku za podmínek předchozí varianty měl materiál možnost přemísťovat se a vytlačovat se do mezery mezi pravítkem. Tím vznikla nežádoucí deformace zkušební vzorku. Vložením přesně vyrobených ocelových kalených vymežovacích podložek mezi zkušební vzorek a pevná pravítka zkušební lisovacího nástroje (*Obr. 51*) dojde k fixaci šířky zkušební vzorku.



**Obr. 51.** Vkládání vymežovacích podložek pro zamezení deformace šířky zkušební vzorku o oblasti tváření

Tím se zamezí vzniku deformace zkušební vzorku v šířce. Změna rozměru šířky v oblasti tváření by měla po vyhloubení kuželového zahloubení zůstat téměř stejná. I zde platí zákon zachování objemu při tváření. Zamezením možnosti deformace zkušební vzorku v šířce je zřejmé, že se materiál bude přemísťovat v délce zkušební vzorku. V úvahu připadá i myšlenka dokonalejšího zaplnění modrého prostoru (*Obr. 21*) vlivem omezené možnosti deformace. Proto se test provedl i na zkušebních vzorcích s předvrtanou dírou 5,42 mm; 4,90 mm a 4,60 mm.

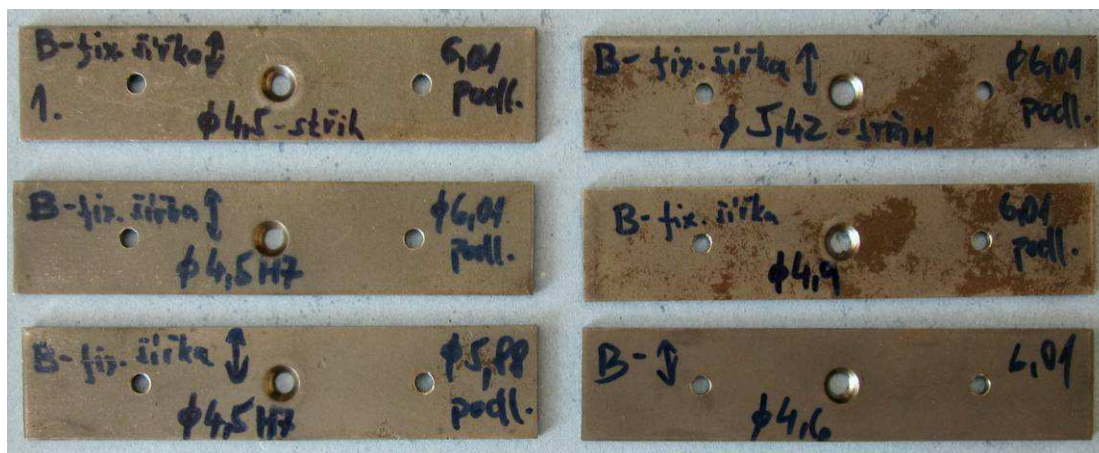


**Obr. 52.** Schéma znázorňující princip a postup při lisování – *varianta B*



První experiment *varianty B* (Obr. 52) proběhl na zkušební vzorku s předstříženou dírou 4,50 mm. Po zatlačení pracovní části tlačníku do zkušební vzorku bylo nutné povolit šrouby upevňující pravítka k tlačné desce a vyrazit kolíky. Vlivem velkých tlaků mezi styčnými plochami při lisování došlo k pevnému přitlačení vymezovacích podložek k pravítkům a bez uvolnění pravítek nebylo možné zkušební vzorek z nástroje vyjmout. Deformace zkušební vzorku v délce zapříčinila, že šel zkušební vzorek hůře sejmut ze středících kolíků lisovacího zkušební nástroje. Vtlačováním pracovní části tlačníku došlo k přemísťování částic materiálu směrem k ose předstřížené díry – zaplnění modrého prostoru (Obr. 21) a k přemísťování částic materiálu směrem od osy předstřížené díry v délce zkušební vzorku i nepatrně v šířce zkušební vzorku. Deformaci zkušební vzorku v délce bránily středící kolíky, proto šel zkušební vzorek hůře sejmut ze středících kolíků.

Při tomto experimentu bylo lisováním dosaženo požadovaných rozměrů a požadovaného tvaru kuželového zahloubení. Šířka zkušební vzorku se v oblasti tváření nepatrně zvětšila. Rozměr šířky zkušební vzorku v oblasti tváření se zvětšil o 0,10 mm na hodnotu 23,25 mm. Rozměr šířky po vylisování vyhovuje z hlediska rozměrové tolerance. Změna rozměru v délce je 0,28 mm a byla zjištěna změnou rozteče děr pro středění zkušební vzorku. Touto variantou bylo docíleno požadovaného výsledku a bylo by možné ji aplikovat při návrhu postupového lisovacího nástroje pro výrobu dílu zamykacího ústrojí. Při aplikaci tohoto způsobu lisování se musí dále promyslet vliv změny rozměru plechu v jeho délce.



Obr. 53. Vylisované zkušební vzorky – varianta B

Při experimentech na zkušebních vzorcích s předvrtanými dírami o průměru 5,42 mm; 4,90 mm a 4,60 mm nebylo dosaženo žádaných výsledků. Fixace šířky neměla vliv na lepší přemístění materiálu do modrého prostoru (*Obr. 21*). Rozměry vylisovaného zahloubení jsou shodné s *variantou A*. Zvětšení rozměru šířky zkušebního vzorku v oblasti tváření je po lisování minimální a nastala zde deformace v délce zkušebního vzorku.

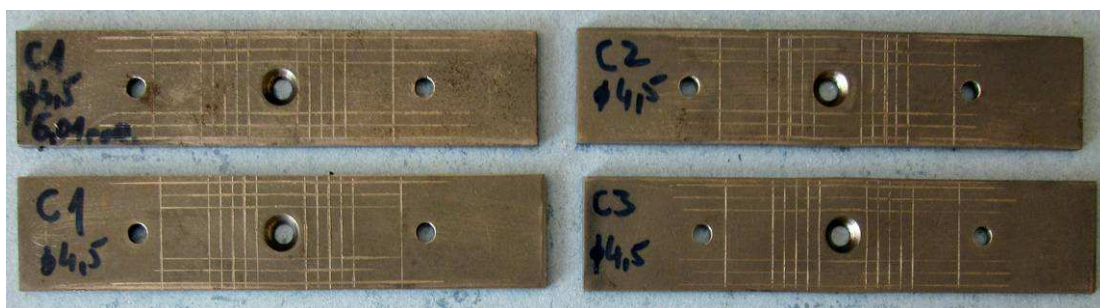
### 7.3. Varianta C

Lisování kuželového zahloubení v lisovacím nástroji do rýhovaného zkušebního vzorku:

Rýhováním povrchu zkušebního vzorku v okolí tváření je snaha orientačně zjistit, jakým směrem dochází k přemísťování částic materiálu při lisování kuželového zahloubení za určitých podmínek zakládání zkušebního vzorku do zkušebního lisovacího nástroje.

Rýhování povrchu zkušebního vzorku bylo provedeno hrotem upnutým ve vřetenu souřadnicové vrtačky. Ostrý hrot byl lehce vtlačen do zkušebního vzorku a přejížděním pracovního stolu vrtačky ve směru šířky a délky zkušebního vzorku byla vytvořena síť rýh. Rýhy od sebe mají určitou vzdálenost.

Do všech zkušebních vzorků této varianty byla vystřižena díra ve středním zkušebním nástroji. Průměr vystřižené díry byl 4,50 mm. Následovalo lisování zkušebních vzorku za různých podmínek zakládání do lisovacího zkušebního nástroje.

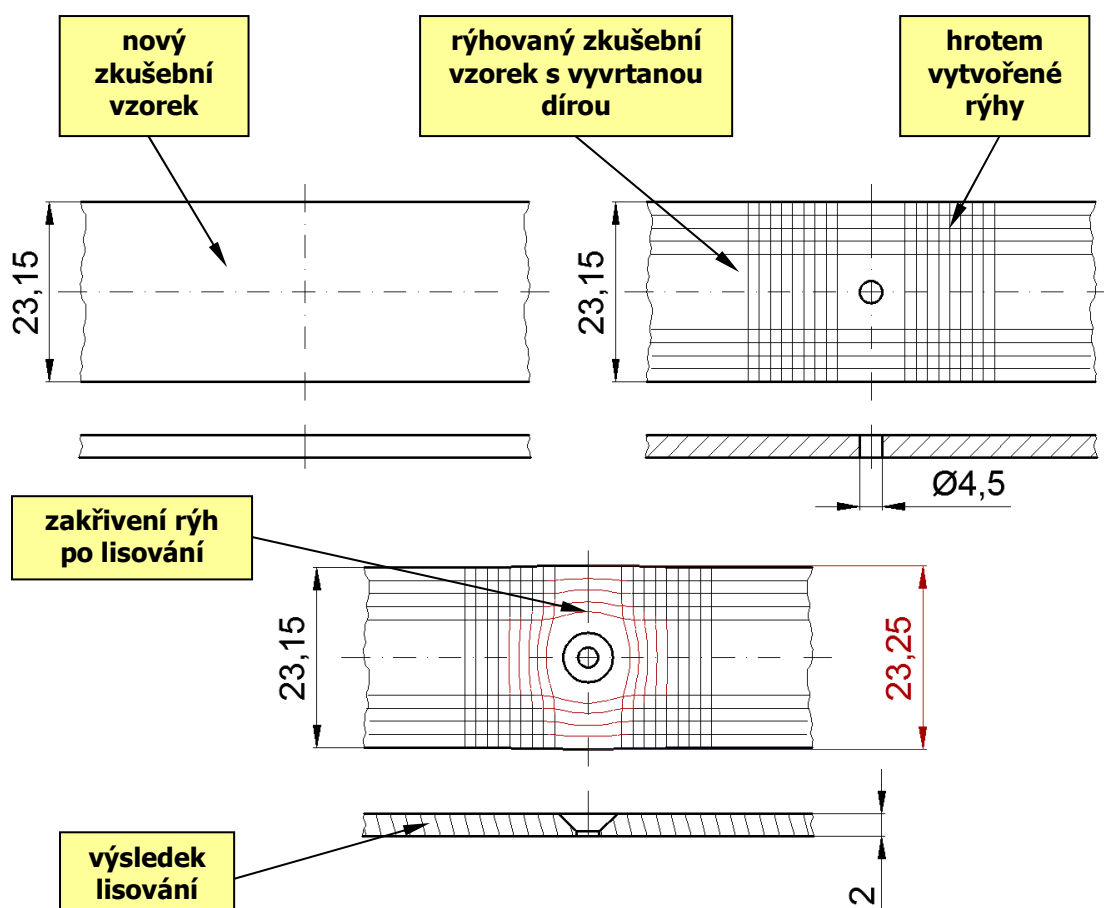


**Obr. 54. Vylisované zkušební vzorky – varianta C**

**zkušební vzorek C1** – středěn na středící kolíky lisovacího nástroje a pomocí vymezovacích podložek byla fixována šířka zkušebního vzorku proti deformaci

**zkušební vzorek C2** – založen na středící kolíky lisovacího nástroje, bez fixace šířky zkušební vzorku

**zkušební vzorek C3** – bez středění na kolíky lisovacího nástroje a bez fixování šířky zkušební vzorku



**Obr. 55. Schéma znázorňující zakřivení nanesených rýh – varianta C**

Tyto experimenty poskytly pouze orientační výsledky, jakým způsobem se zkušební vzorek v oblasti tváření deformuje. Na vzorcích je vidět, že se rýhy po vylisování kuželového zahloubení zakřivily. Vzhledem k použité technologii nanášení rýh není možné přesně změřit změny vzdáleností jednotlivých rýh, proto zkouška není dále vyhodnocována.

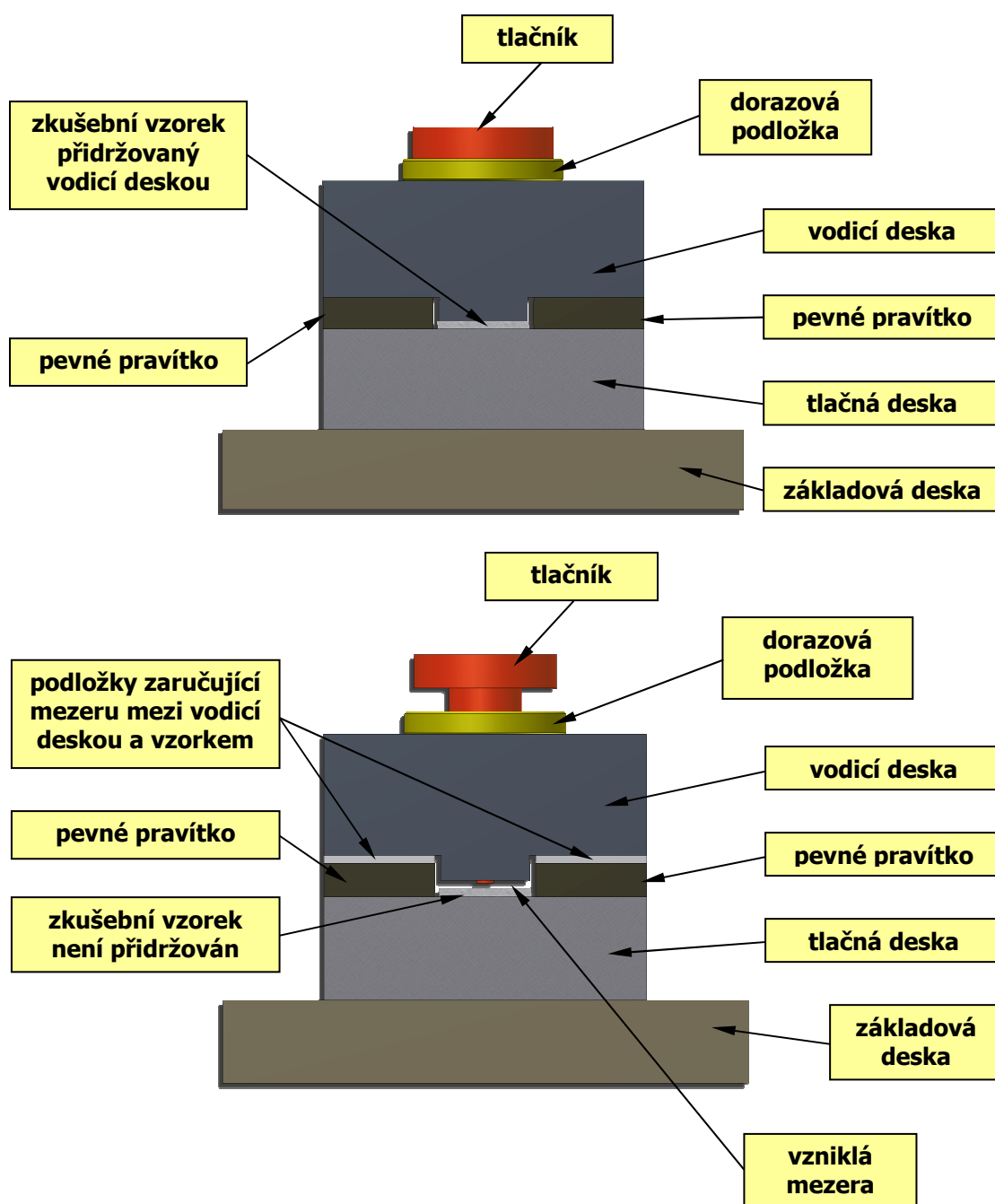
#### 7.4. Varianta D

Lisování kuželového zahloubení v lisovacím nástroji bez přidržení zkušební vzorku vodící deskou lisovacího nástroje:

V tomto experimentu je snaha zjistit, zda by bylo možné lisovat zahloubení do zkušební vzorku bez přidržování zkušební vzorku vodící



deskou lisovacího nástroje. V základním vstupním experimentu nebyl zkušební vzorek přidržován a došlo k jeho zohýbání (*Obr. 20*). Nový zkušební lisovací nástroj má jinak konstruovaný tlačník s osazením, které při lisování dosedá na zkušební vzorek. Z výsledků vstupního experimentu je zřejmé, že při vtlačování pracovní části tlačníku bude docházet k průhybu pásu. Cílem tohoto experimentu je zjistit, zda osazení tlačníku při dosednutí na zkušební vzorek eliminuje prohnutí zkušebního vzorku.



**Obr. 56. Umístění podložek mezi vodící desku a pravítko**

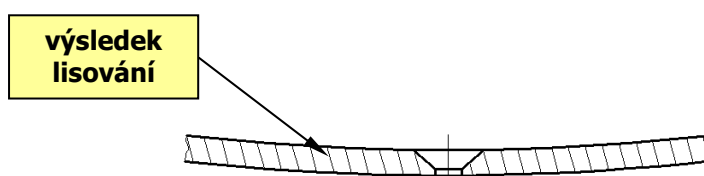


Vodicí deska lisovacího nástroje nesmí přidržovat zkušební vzorek. Proto musely být vyrobeny dvě speciální podkládací podložky (*Obr. 57*). Podkládací plechy se vkládají mezi vodicí desku a pravítka, tím dojde ke změně polohy vodicí desky, dorazové podložky a tlačníku vůči ostatním částem lisovacího nástroje. K tomu, aby mohlo dojít k lisování, musela být vyrobena nová dorazová podložka lisovacího nástroje. Podložka má oproti původní podložce tloušťku menší o hodnotu tloušťky podkládací podložky.



**Obr. 57. Podložky mezi pravítka a vodicí desku lisovacího nástroje**

Po lisování kuželového zahloubení došlo k mírnému prohnutí zkušební vzorku (*Obr. 58*). Válcové osazení tlačníku svým dosednutím na zkušební vzorek nedokáže prohnutí zkušební vzorku eliminovat.



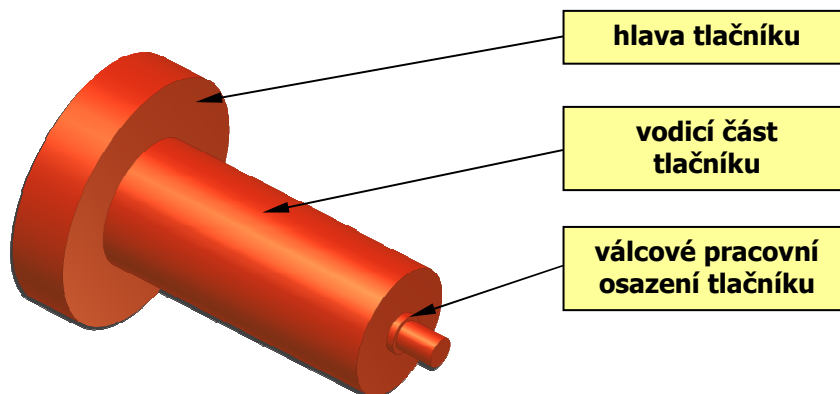
**Obr. 58. Ohnutý zkušební vzorek – varianta D**

## 7.5. Varianta E

Lisování kuželového zahloubení v lisovacím nástroji s předlisováním zkušební vzorku předlisovacím tlačníkem v oblasti vyvrtané díry:

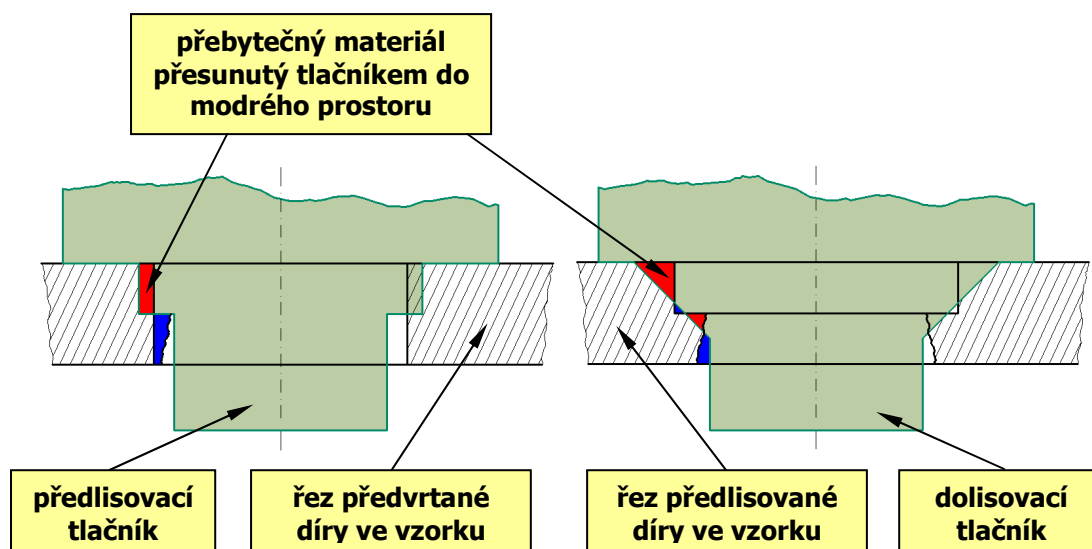
V této variantě se používají dva tlačníky. Nový předlisovací tlačník (*Obr. 59*) a druhý dolisovací tlačník. Dolisovací tlačník je stejný jako tlačník používaný v předchozích variantách (*Obr. 30*). Lisováním kuželového zahloubení s předlisováním (na dvě operace) je snaha docílit vylisování kuželového zahloubení s menší deformací zkušební vzorku v jeho šířce a délce oproti předchozím variantám. Předlisovací tlačník má pouze válcové pracovní

osazení. Při předlisování by mělo dojít k přemístění materiálu z oblasti červeného prostoru do oblasti modrého prostoru (*Obr. 60 – vlevo*). Poté se kuželové zahloubení vylisuje dolisovacím tlačníkem, kde by se měl materiál taktéž přemístit z oblasti červeného prostoru do oblasti modrého prostoru (*Obr. 60 – vpravo*).



**Obr. 59. Model předlisovacího tlačníku**

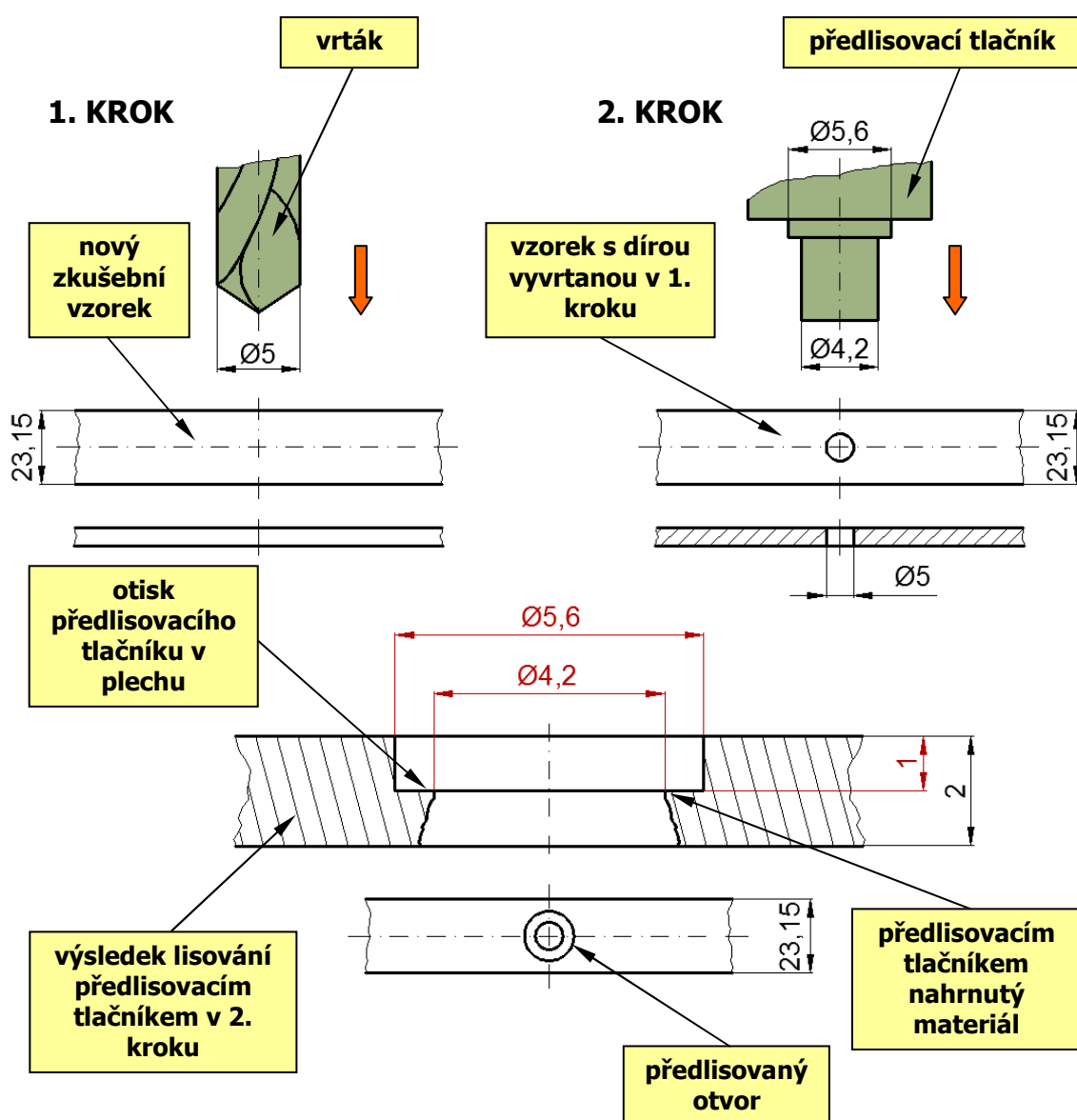
Rozměry pracovní části předlisovacího tlačníku jsou experimentálně voleny a vycházejí z teoretického promyšlení problému a dosud získaných zkušeností v experimentálním lisování kuželového zahloubení. Pracovní osazení tlačníku má výšku 1 mm. Při lisování zajede 1 mm do zkušební vzorku, tj. do poloviny tloušťky zkušební vzorku. Průměr pracovního osazení je 5,60 mm.



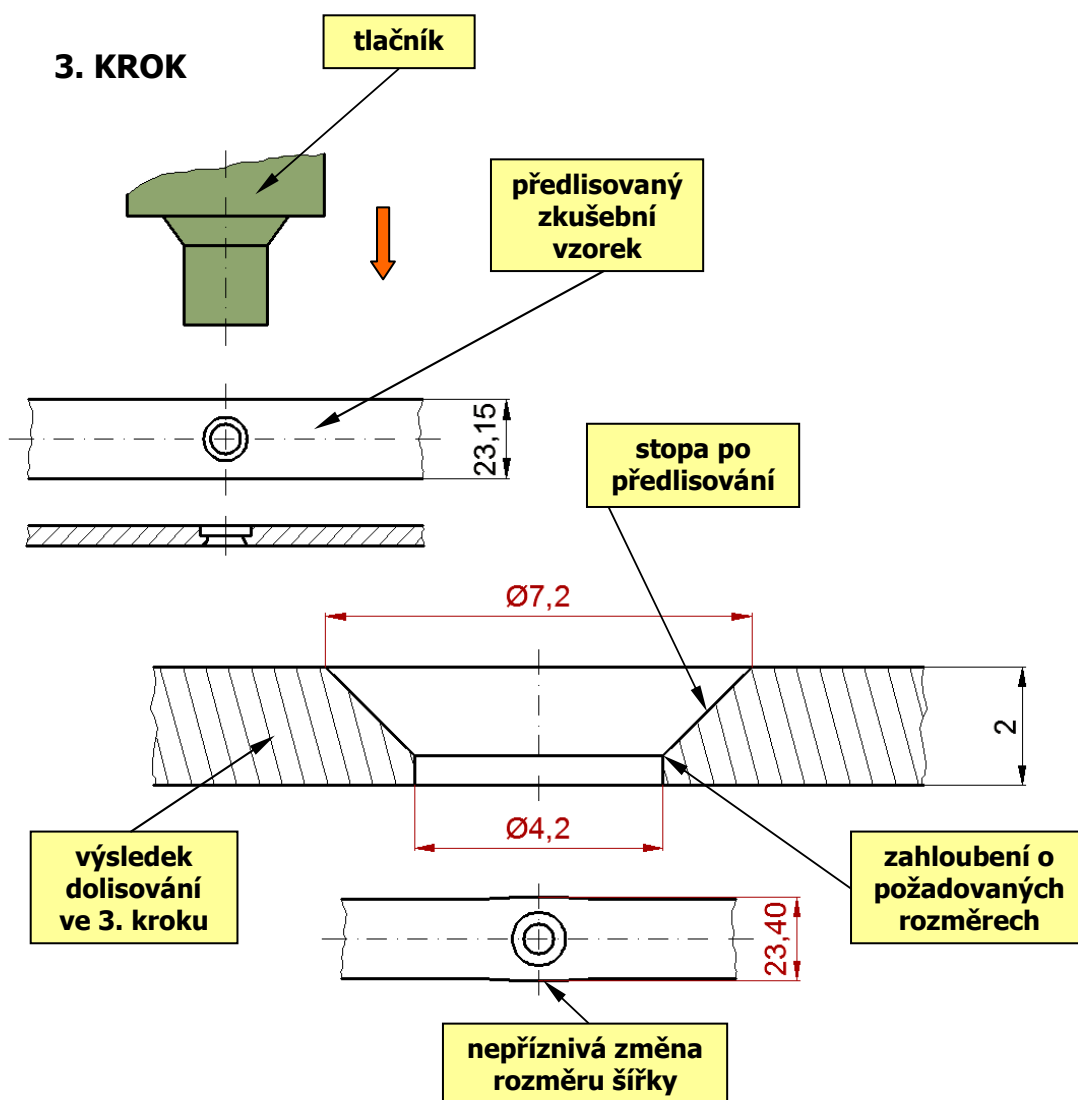
**Obr. 60. Schéma předlisování a následného dolisování kuželového zahloubení**

Do zkušebních vzorků byly předvrtány díry o průměru 5,42 mm; 5,15 mm; 5,00 mm a 4,90 mm. Následovalo lisování předlisovacím tlačníkem. Při lisování předlisovacím tlačníkem nedošlo k deformacím zkušebních vzorků ve směru

šířky ani délky. Materiál byl tlačén osazením tlačníku směrem k ose předvrtané díry a bylo docíleno toho, že materiál "tek" směrem dovnitř vyvrtané díry. Výsledkem předlisování bylo otačení pracovní části předlisovacího tlačníku ve zkušebním vzorku a zmenšení průměru vyvrtané díry. Tím měly být zlepšeny podmínky pro dolisování kuželového zahloubení v dalším kroku, které měly vést ke zmenšení deformace v šířce a délce zkušebního vzorku. Vtlačováním dolisovacího tlačníku došlo k vytlisování kuželového zahloubení (*Obr. 61, Obr. 62*).



**Obr. 61.** Schéma znázorňující princip a postup při lisování – *varianta E (1. a 2. krok)*

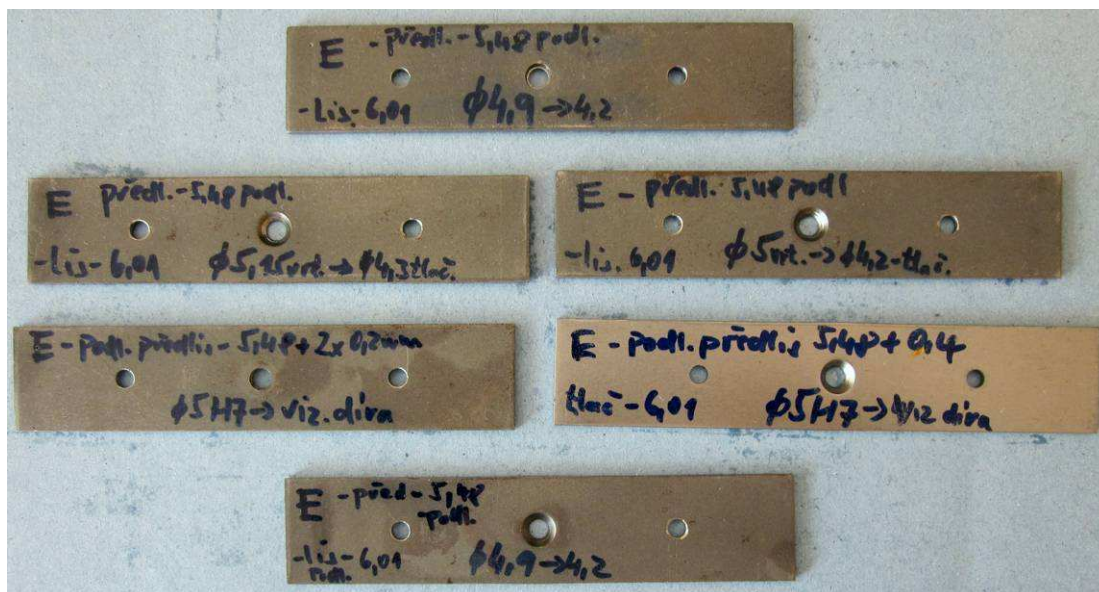


**Obr. 62. Schéma znázorňující princip a postup při lisování – varianta E (3. krok)**

Nejllepší výsledek byl u zkušebního vzorku s předvrtanou dírou o průměru 5,00 mm, kde bylo dosaženo vyhovujících rozměrů kuželového zahloubení. Při tomto způsobu lisování zůstává v kuželové části zahloubení nežádoucí stopa po předlisování a jakost válcové části kuželového zahloubení není ideální. Došlo také k nežádoucí deformaci ve směru šířky zkušebního vzorku. Původní rozměr šířky zkušebního vzorku byl 23,15 mm a po vylisování byl rozměr šířky v oblasti tváření 23,40 mm. Rozdíl šířek zkušebního vzorku před a po lisování byl 0,25 mm.

Rozměr šířky zkušebního vzorku v oblasti tváření se pohybuje mimo dovolenou rozměrovou toleranci, tím není dosaženo požadovaného výsledku. V porovnání s *variantou A* je deformace ve směru šířky zkušebního vzorku

menší. Ve *variantě A* je změna rozměru šířky před a po lisování 0,40 mm a ve *variantě E* je 0,25 mm.



**Obr. 63. Vylisované zkušební vzorky – varianta E**

Experimentální zkoušky provedené ve *variantách A – E* probíhaly na zkušebních vzorcích s předem vystřiženou nebo předvrtanou dírou. V dalších experimentech bylo kuželové zahloubení lisováno tlačníkem do plného materiálu. Byly zde použity tlačníky o různých průměrech válcové pracovní části. Tlačník má stejný tvar i rozměry jako původně používaný tlačník (*Obr. 30*) mimo průměru válcového pracovního osazení, který se v jednotlivých variantách lišil. Použity byly tlačné vložky s různým průměrem díry. V první fázi lisování dochází k tažení materiálu. Válcová pracovní část tlačníku má v první fázi lisování funkci tažníku a tlačná vložka funkci tažnice. V druhé fázi lisování dochází k tvarování kuželového zahloubení podobně jako u předchozích variant a jedná se o speciální způsob přechování materiálu. Cílem tohoto způsobu lisování je vytvořit do plného zkušebního vzorku kuželové zahloubení o požadovaném tvaru a požadovaných rozměrech. Po vylisování zůstane ve spodní části zkušebního vzorku vytažený materiál nebo otřep, který je následně třeba odstříhnout a tím zároveň kalibrovat válcovou část kuželového zahloubení. Vystřižení nebo kalibrace válcové části zahloubení bude provedena jen v případě dosažení potřebného tvaru a potřebných rozměrů kuželového zahloubení bez nepříznivé deformace ve směru šířky zkušebního vzorku.

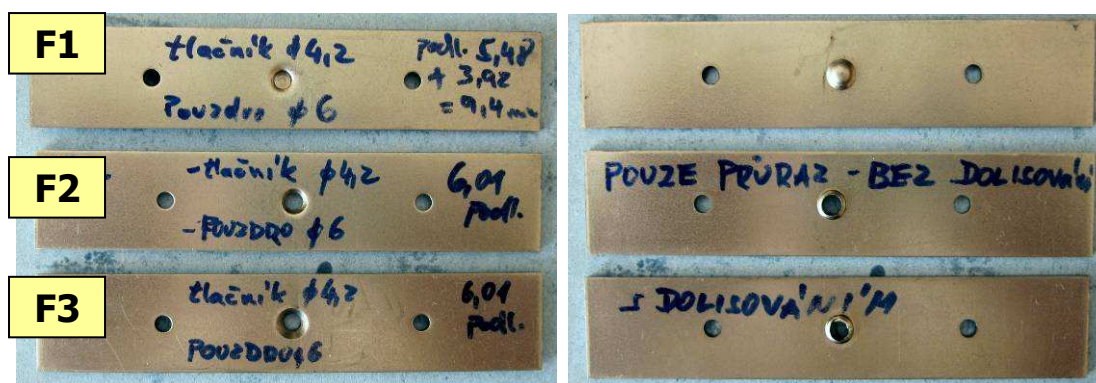


## 7.6. Varianta F

Lisování kuželového zahloubení v lisovacím nástroji za použití tlačníku o průměru válcové pracovní části 4,20 mm a tlačné vložky s dírou o průměru 6,00 mm.

Než byly vyrobeny nové tlačníky s různými průměry válcové pracovní části, tak se uskutečnil první experiment lisování zahloubení do plného materiálu. V lisovacím nástroji se vyměnila tlačná vložka s průměrem díry 4,20 mm za tlačnou vložku s průměrem díry 6,00 mm. Tlačník byl použit stejný jako v předchozích variantách s průměrem pracovní válcové části 4,20 mm. V předchozích variantách měla válcová pracovní část tlačníku funkci vedení vůči tlačné vložce a kalibraci válcové části zahloubení. Zde válcová část tlačníku fungovala jako tažník a tlačná vložka jako tažnice/tlačnice.

V první fázi lisování **F1** došlo k vytažení materiálu pracovní válcovou částí tlačníku do tlačné vložky. V druhé fázi lisování **F2** došlo k utržení dna vytaženého materiálu a k otlacení kuželové části tlačníku. Ve třetí fázi lisování **F3** došlo k dolisování kuželového zahloubení a k vytlačení přebytečného materiálu do tlačné vložky. Při vniknutí válcové části tlačníku přibližně 2,90 mm do zkušební vzorku se objevily znatelné trhliny na vytažené části materiálu. Dalším pracovním pohybem tlačníku došlo k utržení dna vytaženého materiálu a k vylisování kuželového zahloubení (*Obr. 65*).

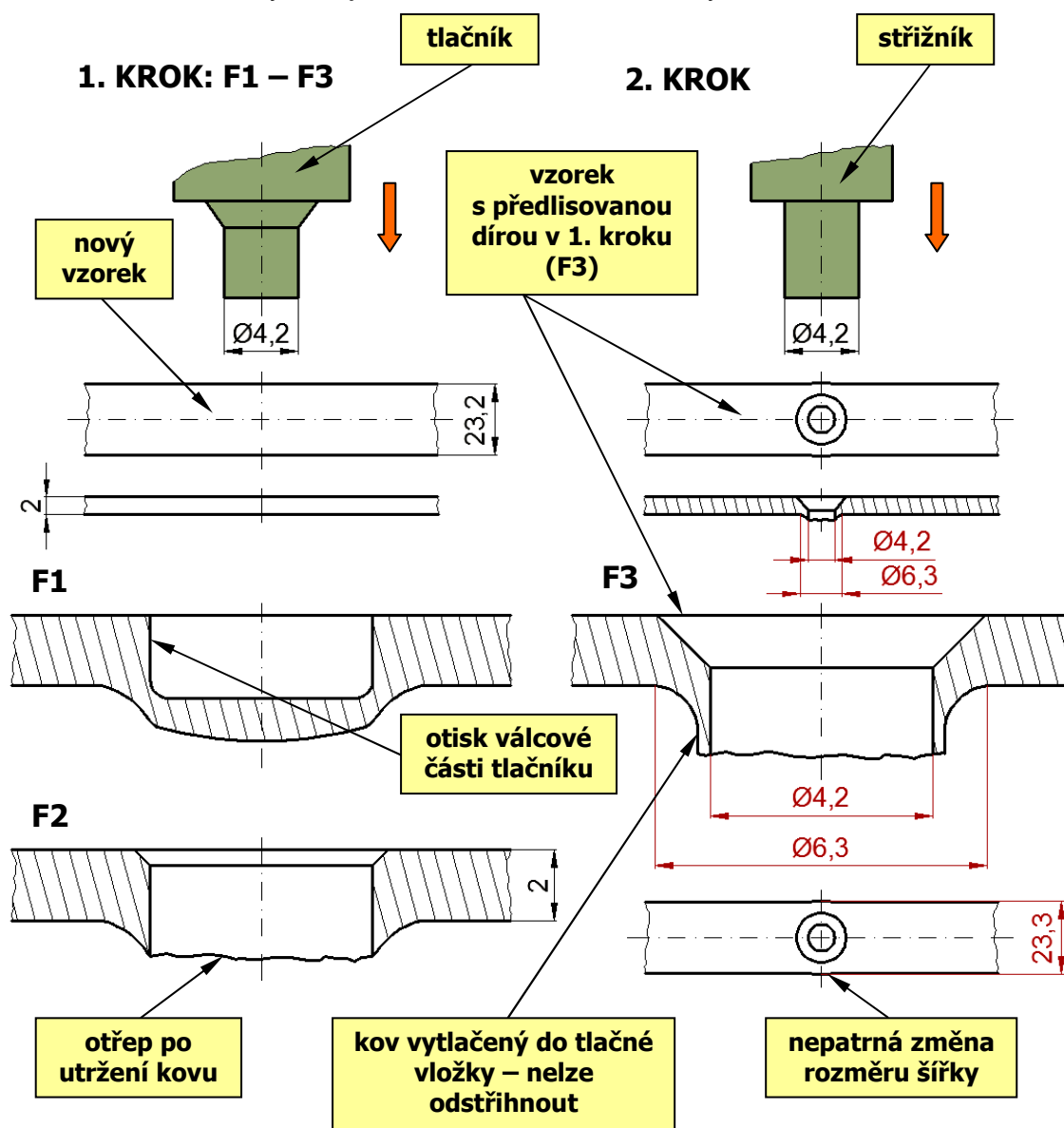


**Obr. 64. Vylisované zkušební vzorky – varianta F**

Parametry kuželového zahloubení vylisovaného do plného materiálu odpovídají požadavkům. Rozdíl šířky zkušební vzorku v oblasti tváření je před lisováním a po lisování 0,10 mm. Rozměr šířky zkušební vzorku před



lisováním je 23,20 mm a po lisování 23,30 mm. Zvětšení rozměru šířky vlivem lisování o 0,10 mm vyhovuje rozměrové toleranci šířky zkušebního vzorku.

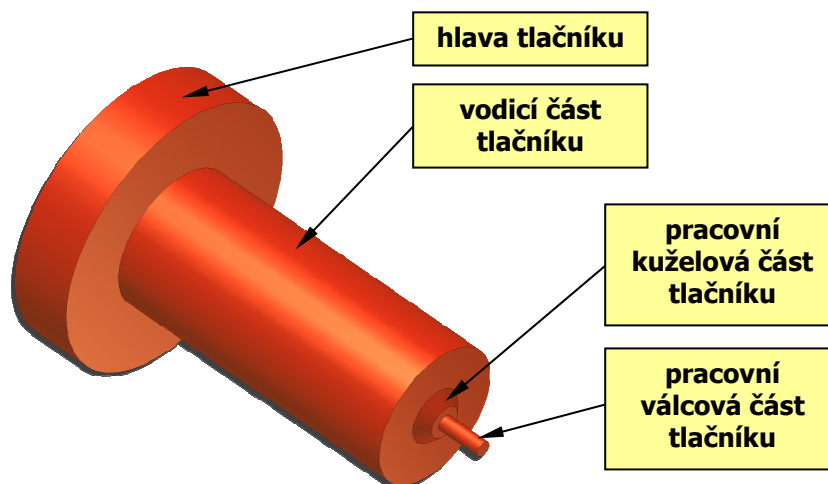


**Obr. 65.** Schéma znázorňující princip a postup při lisování – *varianta F*

Vylisované zahlobnutí vyhovuje, ale na zkušebním vzorku zůstal ve spodní části přebytečný vytlačený materiál, který nelze odstříhnout. Odstřížení není možné, protože při tváření byla použita tlačná vložka s dírou o průměru 6,00 mm. Vnější průměr přebytečné vytlačené části materiálu je 6,00 mm, protože materiál při tváření kopíroval stěny tlačné vložky. Průměr střížnice pro vystřížení díry válcové části zahlobnutí o průměru 4,20 mm je 4,32 mm. Odstřížení přebytečné vytažené části materiálu by bylo možné za předpokladu, že její maximální průměr bude menší než průměr střížného otvoru ve střížnici.

### 7.7. Varianta G

Lisování kuželového zahloubení v lisovacím nástroji za použití tlačníku o průměru válcové pracovní části 2,00 mm a tlačné vložky s dírou o průměru 4,20 mm.

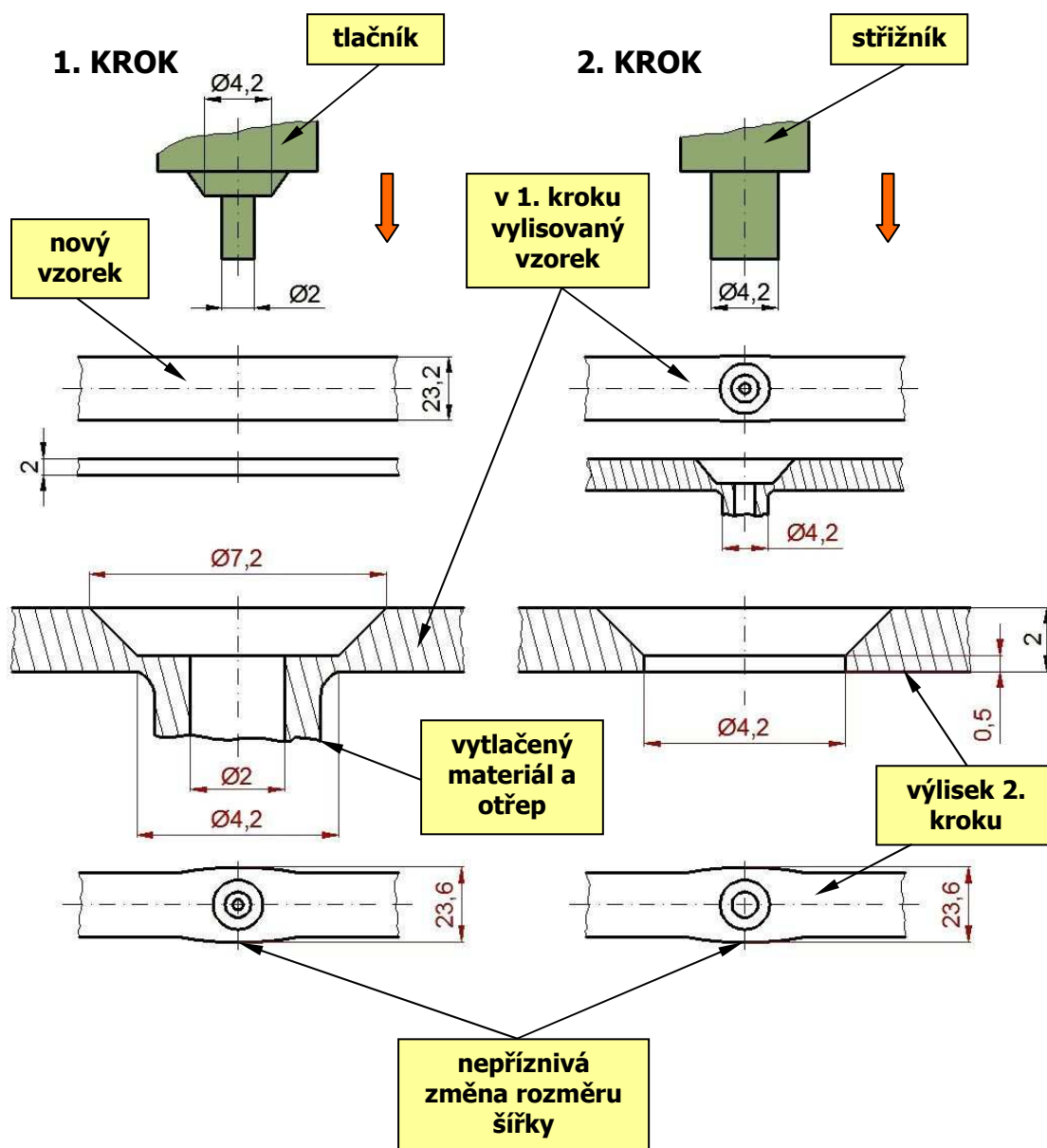


**Obr. 66. Model tlačníku pro variantu G**

V tomto experimentu byl použit tlačník o průměru pracovní válcové části 2,00 mm (*Obr. 66*) a tlačná vložka s dírou o průměru 4,20 mm. Zmenšení průměru tlačné vložky bylo nutné z důvodu potřebného vystřižení díry válcové části zahloubení ve zkušebním vzorku (odstranění vytlačeného materiálu do tlačné vložky). Materiál při lisování kopíruje otvor tlačné vložky. Při průměru tlačné vložky 4,20 mm může být průměr vytlačené přebytečné části materiálu do tlačné vložky maximálně 4,20 mm, a tudíž se v dalším kroku vejde do střížného otvoru střížnice s průměrem 4,32 mm. Průměr válcové části tlačníku byl zmenšen na průměr 2,00 mm. Při tomto malém průměru pracovní válcové části tlačníku je zřejmé, že bude mít snahu materiál propíchnout.

Vtlačováním slabé válcové části tlačníku došlo k brzkému propíchnutí materiálu. Probíhající děj se podobá stříhání materiálu mezi tupým střížníkem a tupou střížnicí s příliš velkou střížnou mezerou, kde dochází k utržení materiálu. V první fázi lisování **G1** došlo k vniknutí pracovní válcové části tlačníku do plného materiálu zkušebního vzorku přibližně do hloubky 1,80 mm. V této hloubce vniknutí tlačníku do materiálu se objevily trhliny. V druhé fázi lisování **G2** došlo k utržení dna vytlačeného materiálu a k lehkému otisku osazení, které je přechodem mezi válcovou a kuželovou pracovní částí tlačníku. Ve třetí fázi

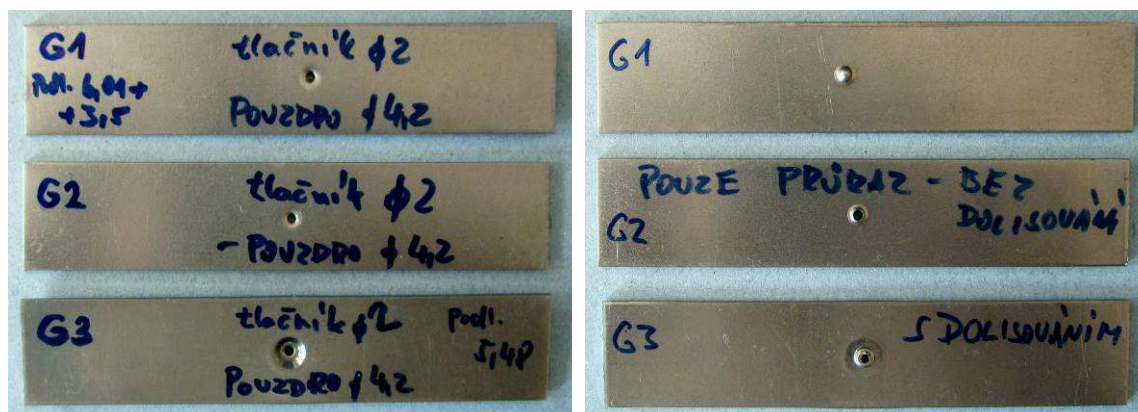
lisování **G3** došlo k vytlačení materiálu do tlačné vložky a k otisku tvaru pracovní části tlačníku ve zkušební vzorku (Obr. 67).



**Obr. 67. Schéma znázorňující princip a postup při lisování – varianta G**

Při lisování vznikla deformace v šířce zkušební vzorku. Rozdíl rozměrů šířky před lisováním a po lisování je 0,40 mm. Šířka zkušební vzorku před lisováním byla 23,20 mm a šířka zkušební vzorku po lisování v oblasti tváření je 23,60 mm. Tento rozměr je mimo dovolenou rozměrovou toleranci šířky zkušební vzorku. Největší průměr vytlačeného kovu je 4,20 mm a bylo by jej možné odstranit vystřížením díry o průměru 4,20 mm, čímž by se dokončilo lisování kuželového zahloubení. Z důvodů příliš velkého zvětšení rozměru šířky

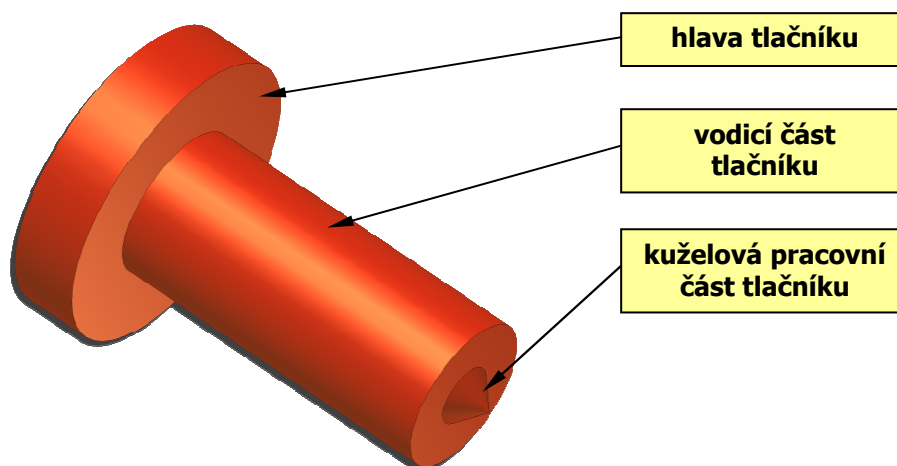
zkušební vzorku nebylo vystřížení díry provedeno. Vystřížením díry by se vytvořila válcová část zahloubení. Tento experiment se svými výsledky přibližuje výsledkům dosaženým při experimentálních zkouškách *varianty A*.



**Obr. 68.** Vylisované zkušební vzorky – varianta G

### Varianta H

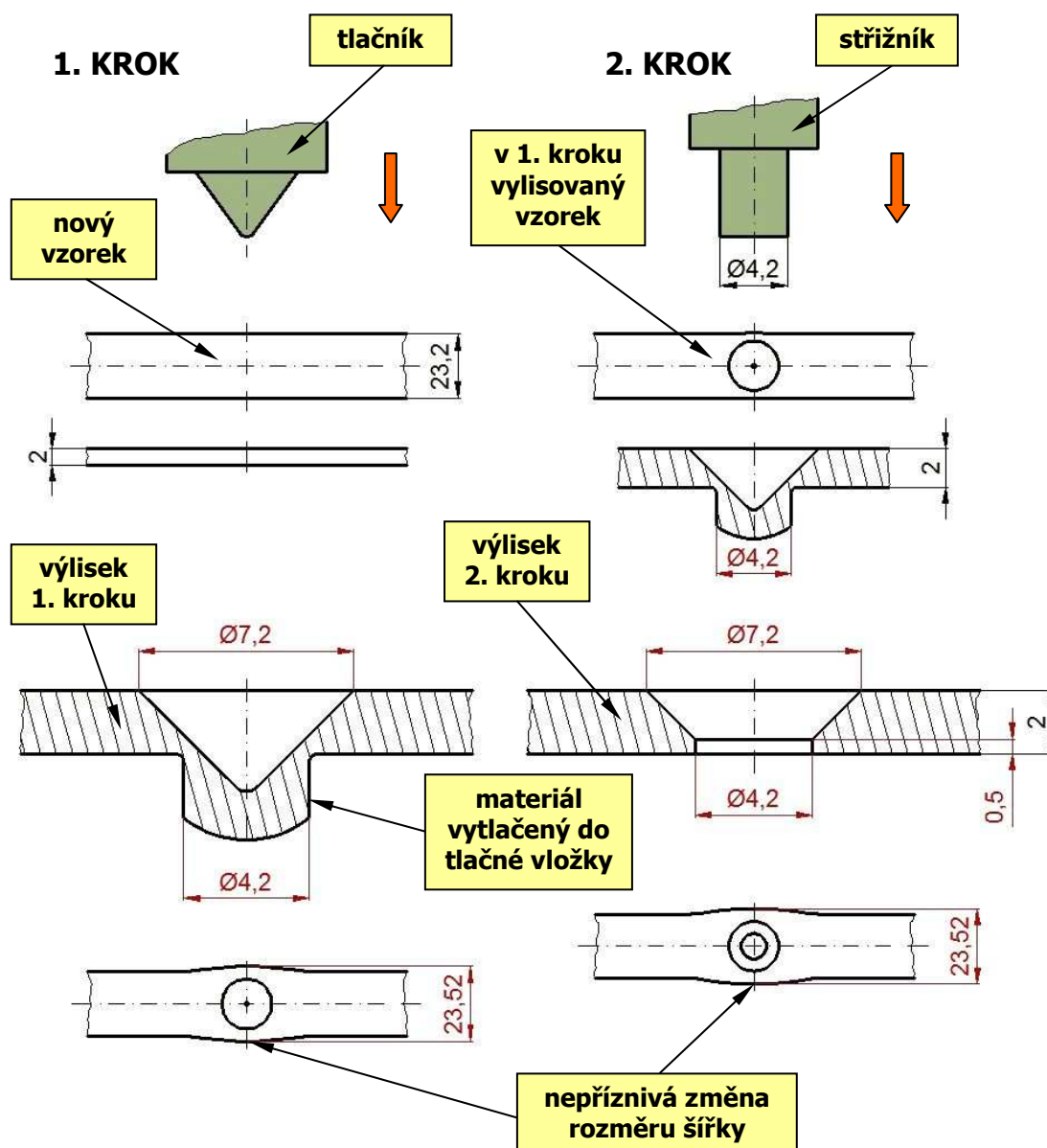
Lisování kuželového zahloubení v lisovacím nástroji za použití tlačníku, jehož pracovní část je pouze kuželová (bez válcové pracovní části) a tlačné vložky s dírou o průměru 4,20 mm.



**Obr. 69.** Model tlačníku pro variantu H

V této variantě experimentálního lisování kuželového zahloubení byl použit tlačník, jehož pracovní část je pouze kuželová (*Obr. 69*). Pracovní kužel má mírně zaoblenou špičku. Díra v tlačné vložce měla průměr 4,20 mm. Rozměry pracovního kužele jsou vyrobeny tak, aby jeho vtlačováním došlo k vylisování tvaru kuželového zahloubení o požadovaných parametrech. Tlačník tvaruje kuželovou část zahloubení a také tlačí materiál do tlačné vložky o

průměru díry 4,20 mm. Největší průměr vytlačeného materiálu do tlačné vložky může být stejný jako průměr díry v tlačné vložce. Vytlačený materiál je následně možné odstříhnout ve střížném nástroji. Průměr střížného otvoru ve střížné vložce je 4,32 mm. Stříhem dojde k vytvoření válcové části zahloubení a k oddělení vytlačeného přebytečného materiálu (Obr. 70).



**Obr. 70. Schéma znázorňující princip a postup při lisování – varianta H**

Výsledkem této varianty je otisk pracovní části tlačníku ve zkušebním vzorku a vytlačení materiálu do tlačné vložky. Rozměr šířky po vylisování je v oblasti tváření 23,52 mm čili o 0,32 mm větší než šířka zkušebního vzorku před



lisováním. Šířka 23,52 mm nevyhovuje požadovaným rozměrům, protože je mimo dovolenou rozměrovou toleranci šířky zkušební vzorku.



Obr. 71. Vylisovaný zkušební vzorek – varianta H

### 7.8. Měření lisovací síly při tváření

Skutečná lisovací síla potřebná k vylisování kuželového zahloubení do zkušební vzorku byla změřena v laboratoři TUL. Měření proběhlo na zařízení Tira Test 2300 a za použití zkušební lisovacího nástroje. Způsob lisování byl proveden podle výše popsané experimentální *varianty B*. Ve zkušebním vzorku byla vystřižena díra o průměru 4,5 mm. Maximální naměřená síla potřebná k vylisování kuželového zahloubení do zkušební vzorku byla 30 030 N.

Na stejném zařízení za použití střížného zkušební nástroje byla změřena síla potřebná pro vystřižení tří kruhových děr do zkušební vzorku. Vystřihovány byly dvě díry o průměru 4 mm a jedna díra o průměru 4,5 mm. Maximální naměřená síla pro vystřižení těchto tří kruhových děr byla 10335 N.



Obr. 72. Měření lisovací síly v laboratoři TUL





## 8. Závěr

Tato diplomová práce se zabývá návrhem metod lisování kuželového zahloubení pro šrouby se zápustnou hlavou. V úvodní části diplomové práce je stručně popsán a vysvětlen problém lisování kuželového zahloubení a nastíněn důvod vzniku tohoto zadání. Do úvodní části diplomové práce je zařazeno stručné seznámení s firmou NAF, a. s. V následující části diplomové práce je nastíněna teoretická myšlenka lisování kuželového zahloubení, obecná charakteristika technologie stříhání a konstrukce střížných nástrojů. Odtud se dostáváme k praktické části diplomové práce, která spočívá v konstrukci a výrobě zkušebního střížného a zkušebního lisovacího nástroje. Tato část měla velmi pozitivní přínos na obohacení mých znalostí a zkušeností, neboť jsem měl možnost ověřit si teoretické návrhy v praxi. V dílnách firmy NAF, a. s. jsem se přímo účastnil výroby navržených dílů zkušebních nástrojů, a mohl si tak okusit preciznost nástrojařského řemesla a projít si kompletní výrobní cyklus zkušebních nástrojů. Přímou obsluhou obráběcích strojů jsem si rozšířil přehled o pracovních postupech při obrábění dílů a o výrobních možnostech jednotlivých obráběcích strojů. V závěrečné části diplomové práce jsou popsány provedené experimentální zkoušky lisování kuželového zahloubení, jejichž výsledky jsou okomentovány a hodnoceny.

Některé teoretické předpoklady se rozcházejí s výsledky praktických zkoušek. Například teorie vystřižené díry pro následné dolisování tlačíkem, kde při výpočtem stanoveném průměru vystřižené díry nedošlo k vylisování kuželového zahloubení o vyhovujících rozměrech. Jednou z podmínek této teorie je, že nesmí dojít k přemísťování částic materiálu zkušebního vzorku v jeho délce, šířce a tloušťce, což nebylo možné při testech dodržet. Fixací zkušebního vzorku lze zamezit deformaci ve směru tloušťky i šířky zkušebního vzorku, deformaci v délce zkušebního vzorku lze zamezit obtížně.

Výsledky dosažené experimentálními zkouškami vypovídají o tom, že výrobu součásti zamykacího ústrojí by bylo možné za předepsaných podmínek realizovat. Použití způsobu lisování podle experimentální *varianty G* spolu s fixací zkušebního vzorku proti deformaci ve směru šířky použité



v experimentální *variantě B* by vedlo k vylisování dílu zamykacího ústrojí na dva pracovní kroky finálního lisovacího nástroje. V prvním kroku by došlo k vylisování tří kuželových zahloubení do plného materiálu. V druhém kroku by došlo k vystřížení dvou tvarových otvorů dílu spolu s vystřížením tří děr o průměru 4,20 mm, které tvoří válcovou část zahloubení. Tím by se odstříhla přebytková část vytlačeného materiálu ve spodní části dílu. Ve druhém kroku by také docházelo k dělení pásu oceli, čímž by se dosáhlo požadované délky dílu zamykacího ústrojí. Finální lisovací nástroj by musel mít speciální pohyblivá fixační pravítka, která by při pracovním pohybu beranu lisu sevřela ocelový pás, a tím by se zamezilo deformaci v šířce dílu. Při zpětném chodu by se fixační pravítka uvolnila, a umožnila tak posun materiálu v nástroji.

Tímto způsobem lisování by byly splněny vstupní předepsané podmínky pro lisování dílu kromě požadavku na lisování výlisku ve dvou řadách. Rozměry pracovního stolu lisu, zejména pak rozměr propadu ve stolu lisu i uvažovaná konstrukce finálního lisovacího nástroje s pohyblivými fixačními pravítky neumožní lisování dílu zamykacího ústrojí ze dvou vedle sebe jdoucích pásů oceli. Tvářecí síla lisu pro vylisování jednoho výlisku je dostačující.

Tento návrh lisování kuželového zahloubení vede k důkladnému promyšlení konstrukce lisovacího nástroje pro lisování dílu zamykacího ústrojí. Bylo by vhodné experimentálně prověřit zejména vliv deformace ocelového pásu při lisování ve směru délky a její dopad na průběh lisování.

Změnou vstupních požadavků na výrobu dílu zamykacího ústrojí by bylo možné docílit úspěšného vylisování dílu zamykacího ústrojí. Zmíním dva možné způsoby lisování, které by při změně vstupních podmínek vedly k úspěšnému vylisování dílu zamykacího ústrojí, a bylo by vhodné se jimi dále zabývat. Další návrhy lisování vycházejí z dosažených výsledků experimentálních zkoušek.

- Vystříhování dílu zamykacího ústrojí z širokého plechového pásu:

Kuželová zahloubení by se zhotovila podle experimentální *varianty A* do širokého pásu oceli. V dalším kroku by se vystříhly dva tvarové otvory součástí. Nakonec by došlo k vystřížení obvodu výrobku, čímž by se dosáhlo jeho přesných obvodových rozměrů. Vystřížením obvodu výrobku odpadá problém deformace ve směru šířky.



- Postupový nástroj s pohyblivými fixačními pravítky:

Díl zamykacího ústrojí by se vyráběl z pásu oceli o stejné šířce jako je šířka výrobku. Lisování kuželového zahloubení by probíhalo podle *varianty B*. Nástroj by musel mít speciální pohyblivá fixační pravítka, která by zamezovala deformaci v šířce dílu. V úvahu se musí brát vzniklá deformace ve směru délky ocelového pásu. V prvním kroku před vtlačováním tlačníku do materiálu by byly vystřiženy technologické otvory v oblasti dvou tvarových děr výlisku, do kterých by se materiál při lisování tlačníkem natlačil. Následovalo by vystřižení dvou tvarových děr výlisku a dělení vylisovaného výrobku na přesnou délku.



## Použitá literatura

- [1] BAREŠ, K., DÍTĚ, K., HAŠEK, V., aj.: Lisování. 1. vyd. Praha : SNTL, 1971. 544 s.
- [2] BOBČÍK, L.: Střížné nástroje pro malosériovou výrobu. 1. vyd. Praha : SNTL, 1983. 216 s.
- [3] ŠAFAŘÍK, M.: Nástroje pro tváření kovů a plastů – cvičení. 1. vyd. Liberec : Vydavatelství Vysoké školy strojní a textilní v Liberci, 1991. 181 s. ISBN 80-7083-014-X
- [4] LEINVEBER, J., ŘASA, J., VÁVRA, P.: Strojnické tabulky. 3. dopln. vyd. Praha : pedagogické nakladatelství Scientia, 1999. 986 s. ISBN 80-71836-164-6
- [5] OLEJNÍK, J.: Tváření plechu III. Nástroje pro zpracování plechu I. 27. svazek Knižnice strojírenské výroby. Praha : SNTL, 1961. 112 s.
- [6] SRP, K. a kol.: Základy lisování. 1. vyd. Praha : SNTL, 1965. 248 s.
- [7] SEIDLER, A., KOLÁŘ, J.: Výběr norem pro dílnu kovoprůmyslu. 6. přepr. vyd. Praha : nakladatelství a vydavatelství Práce, 1969. 638 s.
- [8] ŽÍDEK, M., ĎEDEK, V., SOMMER, B.: Tváření oceli. 1. vyd. Praha : SNTL, 1988. 520 s.
- [9] MODRÁČEK, O., RŮŽIČKA, V., ČECH, B.: Lisování a tažení. 1. vyd. Praha : SNTL, 1965. 204 s.

## Použité webové stránky

NAF, a. s.: <http://www.nastrojarna-naf.cz/cz/> dat.: 3. 2. 2011

## Seznam příloh

*Příloha 1 – Výrobní skica výlisku*

*Příloha 2 – Technické parametry lisu BRUDERER BSTA 60 HL*

*Příloha 3 – Soubor výrobních skic ke zkušebnímu střížnému nástroji*

*Příloha 4 – Soubor výrobních skic ke zkušebnímu lisovacímu nástroji*

*Příloha 5 – Postupy pro výrobu zkušebních nástrojů*

*Příloha 6 – CD s Diplomovou prací a doprovodnými materiály*

(Pozn.: Přílohy se nacházejí v samostatných deskách.)

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum:

V Liberci, 27. května 2011

Podpis:

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date:

In Liberec, 27th May 2011

Signature: